

Daniel Guilherme Rodrigues Sequeira

Análise e Avaliação de Risco de Incêndio através de Diagramas “Bow-Tie”

Agradecimentos

À orientadora desta dissertação, Professora Doutora Celeste Jacinto, que me deu o seu incansável apoio ao longo de todo este trabalho e sem a qual não teria sido possível a realização do mesmo.

À co-orientadora, Professora Doutora Isabel Nunes, pelo seu empenho e todo o contributo para a melhoria do conteúdo desta dissertação.

Queria agradecer também à empresa Galp Energia que me concedeu o estágio, e concretamente à Área de Ambiente, Qualidade e Segurança, destacando a recepção e encaminhamento do Engenheiro António Fonseca e sobretudo ao Engenheiro José Almeida pela disponibilidade que sempre demonstrou e pelo seu inestimável apoio.

Finalmente à minha Família e Amigos aos quais agradeço sempre, mas que faço questão de deixar aqui registado novamente.

Obrigado!

Esta dissertação descreve uma análise e avaliação do risco de incêndio numa instalação industrial. Para tal foi aplicado o modelo “Bow-Tie” em conjunto com matrizes de risco, tendo-se utilizado como ponto de partida o relatório de um incêndio ocorrido na central eléctrica da refinaria de Sines da Galp Energia, em Janeiro de 2009. A avaliação do risco foi hierarquizada e estruturada através de três critérios distintos: propriedade / instalação, pessoas e ambiente. Dessa avaliação de risco resultaram propostas de melhoria e recomendações específicas para a central em análise. Na sequência deste trabalho foram ainda apresentadas algumas limitações e vantagens da aplicabilidade deste modelo, assim como o passo seguinte a considerar na evolução do mesmo.

This thesis describes an analysis and assessment of a fire hazard in an industrial plant. For this to happen, the "Bow-Tie" model was applied in conjunction with risk matrices, using the report of a fire in the power unit of the Galp Energia's petrochemical refinery in Sines, in January 2009, as a starting point. The risk assessment was hierarchical and structured in three distinct criteria: property / facility, people and environment. That risk assessment resulted in proposals for improvement and specific recommendations for the power plant in analysis. There were also presented some limitations and advantages of the applicability of this model, as well as the next step to consider in its progress.

Índice

Introdução	1
1. Estado da Arte	4
1.1 Conceitos Gerais.....	4
1.1.1 Acidente de Trabalho / Acidente Industrial	4
1.1.2 Perigo, Risco e Acidente (Vertente SST).....	5
1.1.3 Efeito Dominó (Vertente Segurança Industrial)	6
1.2 Diagrama “Bow-Tie”	7
1.2.1 Descrição do Diagrama.....	8
1.2.2 Origem e evolução do modelo “Bow-Tie”	12
1.3 Barreiras de Segurança	16
1.4 Teoria dos Conjuntos Difusos.....	22
1.5 Modelo “Bow-Tie” e Teoria dos Conjuntos Difusos	26
1.6 A Matriz de Risco.....	28
2. Metodologia	31
2.1 Desenvolvimento do diagrama “Bow Tie”	31
2.2 Aplicação de Matrizes de Risco	33
3. Caracterização da Empresa	34
3.1 Galp Energia	34
3.2 Refinaria de Sines	35
3.3 Organização e Gestão da Segurança.....	37
4. Caso de estudo	40
4.1 Caracterização do edifício	40
4.2 Descrição do acidente	43
4.3 Análise de Riscos	44
4.3.1 Árvore de Falhas.....	44
4.3.2 Árvore de Acontecimentos.....	45
4.3.3 Consequências / Cenários de Acidente	46
4.3.4 Diagrama “Bow Tie”	47
4.4 Avaliação de Riscos	51
4.4.1 Propriedade / Instalações	52
4.4.2 Pessoas	54

4.4.3	Ambiente	55
4.5	Discussão de resultados	56
4.6	Recomendações de Melhoria.....	59
5.	Conclusões.....	61
	Bibliografia	63
	Legislação e Normas.....	65

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Esquema representativo do diagrama "Bow-Tie"	8
Figura 1.2 - Diagrama "Bow-Tie"	9
Figura 1.3 - Exemplo de barreiras simbólicas.....	17
Figura 1.4 - Representação esquemática de um conjunto difuso.....	24
Figura 1.5 - Funções de pertença discreta e contínua	25
Figura 1.6 - Funções de pertença de tipo Quadrático e Linear	25
Figura 1.7 - Conjunto difuso convexo e não convexo	26
Figura 3.1 - Galp Energia (sede corporativa; Lisboa).....	35
Figura 3.2 - Refinaria de Sines	36
Figura 3.3 - Grupo Galp Energia	37
Figura 3.4 - Organograma da Refinaria de Sines.....	38
Figura 4.1 - Vista exterior da Central Eléctrica	40
Figura 4.2 - Corte da Central Eléctrica.....	41
Figura 4.3 - Planta da Central Eléctrica	42
Figura 4.4 - Sala Turbogrupos.....	43
Figura 4.5 - Exemplo genérico de árvore de acontecimentos.....	45
Figura 4.7 - Diagrama "Bow-Tie"	48
Figura 4.8 - Diagrama "Bow-Tie" completo.....	49
Figura 4.9 - Diagrama "Bow-Tie" com caminho percorrido	50
Figura 4.10 - Diagrama "Bow-Tie" para discussão de resultados	58

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Classificação de Barreiras	19
Tabela 1.2 - Avaliação da Qualidade de um sistema de barreiras	21
Tabela 1.3 - Matriz de risco (tradução da BS 8800:2004)	28
Tabela 1.4 - Tolerabilidade ao risco (tradução da BS 8800:2004).....	29
Tabela 1.5 - Orientações para medidas correctivas de acordo com o nível de risco.....	30
Tabela 4.1 - Níveis de Risco e Tolerabilidade	52
Tabela 4.2 - Matriz de Risco Propriedade/Instalações.....	52
Tabela 4.3 - Descrição da Gravidade Propriedade/Instalações	53
Tabela 4.4 - Matriz de risco Propriedade/Instalações aplicada aos cenários	53
Tabela 4.5 - Matriz de Risco Pessoas.....	54
Tabela 4.6 - Descrição da Gravidade Pessoas	54
Tabela 4.7 - Matriz de Risco Pessoas aplicada aos cenários	54
Tabela 4.8 - Matriz de Risco Ambiente	55
Tabela 4.9 - Descrição da Gravidade Ambiente	55
Tabela 4.10 - Matriz de Risco Ambiente aplicada aos cenários	56
Tabela 4.11 - Nível de Risco e Tolerabilidade de acordo com as categorias.....	56

Introdução

Desde a Revolução Industrial do século XVIII que a segurança no trabalho tem evoluído como parte integrante das transformações tecnológicas, económicas e sociais. No entanto foi apenas após a Segunda Guerra Mundial que os horizontes se expandiram, principalmente devido a um aumento de acontecimentos de grandes proporções ocorridos em indústrias de processos químicos, como por exemplo petroquímicas e petrolíferas. Tais acontecimentos estiveram relacionados com o aumento de dimensão, capacidade e complexidade dos processos industriais referentes ao petróleo, considerado o principal combustível do século XX (Souza & Freitas, 2003).

Devido à dimensão que os acidentes industriais podem atingir, é obrigatório ter cuidados redobrados, visto que podem ter graves consequências não só nas populações, mas também no ambiente próximo; por isso a criação de ferramentas para auxílio na prevenção dos mesmos é incentivada por entidades/agências nacionais e internacionais. Um exemplo disso é a proposta de escala de acidentes industriais (Kirchsteiger, 1998), criada para a Comissão das Comunidades Europeias que permite uma fácil troca de informações entre os estados membros, podendo mesmo servir de utensílio para informação ao público e aos órgãos de comunicação social. Outro exemplo foi a criação em 1999, pelo Grupo Shell, de uma nova metodologia HEMP (Hazard, Effect and Management Process), apelidada de diagrama “Bow-Tie”, que é aqui discutida com algum detalhe, pois constitui um dos pilares fundamentais desta dissertação, aplicada a um caso de estudo prático na Petrogal, refinaria de Sines.

Um acidente industrial é definido pela Directiva 96/82/CE (Directiva Seveso II) como: “qualquer acontecimento, tal como a emissão de substâncias, incêndios ou uma explosão, de carácter grave, relacionado com uma ocorrência incontrolada numa actividade, que provoque perigo grave, imediato ou diferido, para o homem, no interior ou exterior dos estabelecimentos, ou para o ambiente e que envolva ou possa envolver uma ou mais substâncias ou preparações perigosas”.

Relacionado com o que foi dito anteriormente, é importante referir que os estabelecimentos susceptíveis de originar acidentes industriais relevantes são aqueles que produzem, transformam e manipulam substâncias químicas, sejam elas orgânicas ou inorgânicas. Este tipo de acidentes são mais frequentes e têm maior probabilidade de acontecer em unidades relacionadas com a destilação, refinação ou transformação de petróleo bruto ou armazenagem e distribuição de produtos petrolíferos.

O presente trabalho tem como objectivo a execução de uma análise e uma avaliação de risco industrial específico, mas que utiliza informação de um acidente real (um incêndio ocorrido na central eléctrica), como ponto de partida.

Neste estudo é feita uma análise de risco onde é aplicado o diagrama “Bow-Tie”, seguida de uma avaliação de risco com a aplicação de uma matriz para estimar a magnitude do risco. O objectivo inicial incluía também uma avaliação / quantificação do risco através da teoria dos conjuntos difusos. Por esse motivo, a revisão da literatura aqui apresentada também inclui um subcapítulo dedicado ao conceito e à modelação matemática subjacente à teoria dos conjuntos difusos.

No entanto, devido a restrições de tempo e também porque é uma abordagem mais complexa, não chegou a ser aplicada neste estudo. A revisão da literatura foi

contudo mantida, porque a ideia continua válida e completamente actual, podendo servir de base para outras situações e trabalho futuro.

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos que se resumem a seguir:

- No Capítulo 1 faz-se uma revisão da literatura relevante, que caracteriza o estado de arte neste tópico.
- A metodologia geral do trabalho é apresentada no Capítulo 2. Este capítulo também contém uma descrição dos métodos ou ferramentas aplicadas, nomeadamente a abordagem “Bow-Tie” e a matriz de risco.
- O Capítulo 3 faz a transição para a componente mais prática deste trabalho. Aqui caracteriza-se a empresa, o estabelecimento onde se realizou o estudo e os processos industriais envolvidos.
- O Capítulo 4 é constituído pelo caso de estudo, onde é apresentada uma análise e avaliação de risco de incêndio, tendo por base um acidente ocorrido na central eléctrica da refinaria de Sines. Desta análise resultam recomendações de melhoria que encerrarão o capítulo.
- Finalmente, o Capítulo 5 apresenta a síntese das conclusões, onde são também discutidas as principais vantagens e limitações da aplicabilidade do modelo “Bow-Tie”, assim como sugestões para trabalho futuro.

1. Estado da Arte

Neste capítulo serão abordadas algumas definições relevantes assim como a origem e evolução deste modelo de análise e avaliação de risco de acidente industrial.

1.1 Conceitos Gerais

Neste subcapítulo apresentam-se e definem-se alguns conceitos fundamentais para a execução deste trabalho.

1.1.1 Acidente de Trabalho / Acidente Industrial

Esta secção tem como objectivo fazer a distinção entre duas vertentes da segurança: a segurança e saúde no trabalho (SST) e a segurança industrial (SI), nomeadamente no que respeita à definição de “acidente”.

Acidente de trabalho é, por definição, qualquer tipo de acontecimento súbito que se verifique no local e no tempo de trabalho ou no trajecto de e para o local de trabalho e produza directa ou indirectamente lesão corporal, perturbação funcional ou doença que tenha como resultado a morte ou redução na capacidade de trabalho (Lei nº 98/2009 Art.8º).

Um **acidente industrial grave** é qualquer acontecimento, tal como uma emissão de substâncias, um incêndio ou uma explosão de proporções graves, resultante de uma ocorrência incontrolada numa actividade, que provoque perigo grave, imediato ou diferido, para o homem, no interior ou no exterior dos estabelecimentos, ou para o ambiente, e que envolva ou possa envolver uma ou mais substâncias perigosas (Decreto-Lei nº 254/2007).

Neste contexto é também importante definir o conceito de “substância perigosa”.

O Decreto-Lei nº 254/07 de 12 de Julho, define **substâncias perigosas**, como sendo “as substâncias, misturas ou preparações presentes assim como previstas sob a forma de matérias-primas, produtos, subprodutos, resíduos ou produtos intermédios, incluindo os que são produzidos em caso de acidente, presentes no anexo I” do mesmo. O facto da parte prática deste trabalho ter sido efectuada numa refinaria, inclui obrigatoriamente produtos petrolíferos incluindo gases liquefeitos extremamente inflamáveis e outras substâncias que constam no anexo de substâncias perigosas e respectiva quantidade limiar em toneladas.

1.1.2 Perigo, Risco e Acidente (Vertente SST)

Em primeiro lugar, e no contexto da vertente SST, referenciar-se-á a distinção entre perigo, risco e acidente, com as alterações de definição que tiveram recentemente.

Segundo a nova edição da Norma de segurança NP 4397:2008, que tem como intuito dar resposta à necessidade de certificação dos sistemas de gestão de SST, o factor “**perigo**” deixou de se referir aos danos patrimoniais e ambientais, não estando estes directamente relacionados com a gestão da segurança e saúde do trabalho. Todavia, encontram-se englobados no âmbito da gestão de activos. A definição de “**perigo**” é agora “Fonte, situação, ou acto com potencial para o dano em termos de lesão ou afecção da saúde, ou uma combinação destes” (NP 4397:2008, p.8)

O termo “**risco**” é definido como sendo a “combinação da probabilidade de ocorrência de um acontecimento ou de exposição(ões) perigosos e da gravidade de

lesões ou afecções da saúde que possam ser causadas pelo acontecimento ou pela(s) exposição(ões) ” (NP 4397:2008, p. 10).

De igual modo, o termo “risco tolerável” foi substituído pelo termo “**risco aceitável**”, que é definido como sendo o “risco que foi reduzido a um nível que pode ser tolerado pela organização tomando em atenção as suas obrigações legais e a própria política da Segurança e Saúde do Trabalho (SST)” (NP 4397:2008, p.8).

No entanto, o termo “**acidente**” está agora abrangido pelo termo “**incidente**”, isto é “Acontecimento(s) relacionado(s) com o trabalho em que ocorreu ou poderia ter ocorrido lesão, afecção da saúde (independentemente da gravidade) ou morte” (NP 4397:2008, p. 9). Nesta nova edição, o acidente é um caso particular do incidente.

Esta norma consiste numa tradução para Português da Norma OHSAS 18001:2007 do OHSAS *Project Group* 2007, existindo uma publicação da *British Standards Institution* com a referência BS OHSAS 18001:2007, sendo em ambas o domínio de aplicação a vertente de SST.

1.1.3 Efeito Dominó (Vertente Segurança Industrial)

Na análise de acidentes industriais, a criação de cenários relativos às consequências dos mesmos é altamente relevante. Entende-se por “**efeito dominó**” “uma situação em que a localização e a proximidade de estabelecimentos abrangidos pelo Decreto-Lei nº 254/2007 são tais que podem aumentar a probabilidade e a possibilidade de acidentes graves envolvendo substâncias perigosas ou agravar as consequências de acidentes graves envolvendo substâncias perigosas ocorridos num desses estabelecimentos”.

O Decreto-Lei acima referido considera a proximidade entre estabelecimentos perigosos e zonas residenciais um risco agravado; por isso prevê que na elaboração, revisão e alteração dos planos municipais de ordenamento do território sejam fixadas **distâncias de segurança** com o objectivo de prevenir acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e a limitação das respectivas consequências.

No entanto, o chamado “Teorema do dominó” ou “Teoria do dominó” apareceu muito antes, primeiro no domínio da segurança do trabalho (contexto ocupacional) e só depois no domínio da segurança industrial.

Segundo Heinrich, em 1931 (Heinrich et al,1980) considerou que um acidente resulta invariavelmente de uma sequência complexa de factores sendo o último o acidente em si. O modelo é apresentado como a “Teoria do dominó” , devido à sua comparação com uma fila de peças de dominó a derrubarem-se sucessivamente, sendo o acidente apenas evitado com a remoção de uma das peças da sequência. Hoje em dia, esta teoria de Heinrich (sequência única) é considerada ultrapassada por ser demasiadamente simplista. Actualmente é consensual que as causas dos acidentes são geralmente complexas e dependentes de vários factores como as pessoas, o equipamento, o ambiente e os materiais. Ou seja: na origem do acidente existe uma conjugação de múltiplas causas.

1.2 Diagrama “Bow-Tie”

Neste subcapítulo apresenta-se uma descrição, origem e evolução relativa à ferramenta conhecida como diagrama “Bow-Tie”.

1.2.1 Descrição do Diagrama

Através da representação do diagrama “Bow-Tie” é possível obter uma visão geral clarificada dos cenários de acidentes assim como a identificação de causas e consequências, tendo como ponto central o acontecimento crítico. Trata-se de uma análise de risco que está a ganhar cada vez mais popularidade, podendo servir de base para uma posterior avaliação do risco representado / mapeado no diagrama.

Para uma melhor percepção deste conceito, a Figura 1.1 representa, de forma sucinta, o Diagrama “Bow-Tie”.

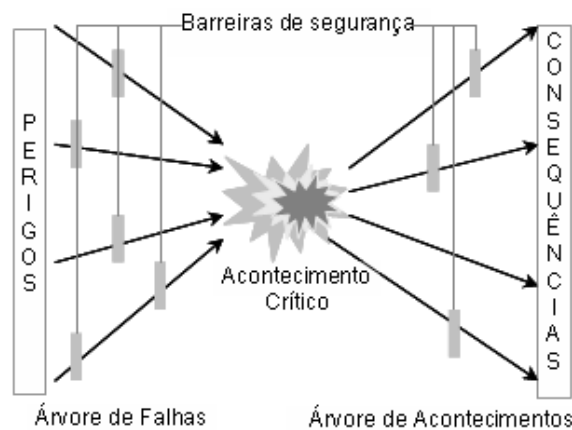


Figura 1.1 - Esquema representativo do diagrama “Bow-Tie”
(Dianous e Fiévez, 2006 p.221; traduzido por Silva 2008)

O seu nome provém da semelhança com um laço, do tipo *Papillon*, adquirindo a designação de diagrama “Bow-Tie”. Este é constituído essencialmente por duas partes, a junção de uma árvore de falhas e uma árvore de consequências. Tal junção permite uma identificação objectiva de todas as causas e consequências relacionadas com o acidente que, no diagrama, corresponde ao ponto central (acontecimento crítico). De igual modo, é necessário referir, do ponto de vista estrutural, a constituição do Diagrama, sendo o ramo esquerdo correspondente aos diversos acontecimentos que proporcionam o acidente em si, e o ramo direito, por seu lado, aquele que representa as diferentes repercussões que tais causas possam

vir a ter. Ou seja: o ramo esquerdo faz o mapeamento das causas, enquanto o ramo direito corresponde às consequências (cenários possíveis).

Na constituição do Diagrama “Bow-Tie” existe ainda a representação das barreiras de segurança, o que permite uma fácil identificação da sua existência e qual a respectiva zona de actuação. Tais barreiras incluem barreiras de prevenção e de protecção. As de prevenção encontram-se situadas na parte esquerda, entre os perigos e o acontecimento crítico; em contraste, as barreiras de protecção representam-se na parte direita entre o acontecimento crítico e as consequências. A principal diferença, em caso de falha, consiste em as primeiras barreiras, ao falharem, conduzirem necessariamente ao acontecimento crítico, em oposição às barreiras de protecção que podem ter ou não um outro acidente como fim. (Kurowicka et al, 2008). Estas últimas têm como principal função mitigar as consequências nefastas.

Em suma, este diagrama permite uma rápida visualização de qual barreira de segurança é accionada em cada cenário.

Após uma breve descrição da estrutura do diagrama “Bow-Tie”, é conveniente explicar, de forma mais minuciosa, os acontecimentos adjacentes ao mesmo. A Figura 1.2 serve de base para essa explicação mais detalhada.

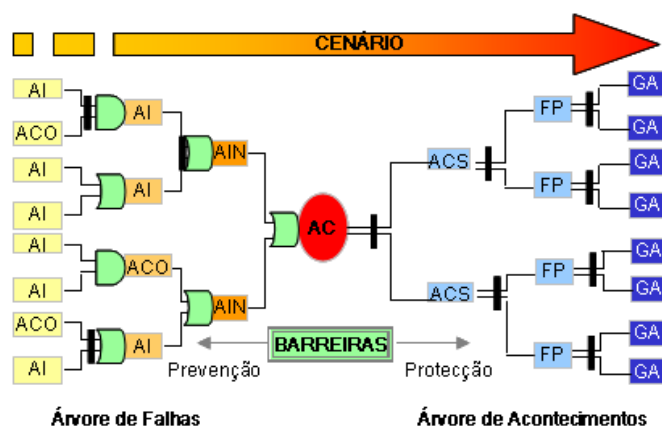


Figura 1.2 - Diagrama "Bow-Tie" (Delvosalle, et al.2003; p. 480 traduzido por Silva, 2008)

Do lado das Causas (parte esquerda da Figura 1.2), representam-se os acontecimentos Indesejados (**AI**) e Correntes (**ACO**), sendo os primeiros considerados como excepcionais, em condições normais. Os **ACO** (correntes) correspondem aos que são considerados como esperados, no que diz respeito às mesmas condições. A junção lógica (**E**) destes, ou mesmo a sua individualidade (**OU**), vai dar origem ao Acontecimento Iniciante, denominado como **AIN**. Este último, por sua vez, vai despoletar o Acontecimento Crítico, designado como **AC**.

De igual modo é necessário mencionar que cada barreira de segurança pode ser constituída por um ou dois estados. Esses estados são denominados como Estado de Sucesso (ou não falha) e o chamado Estado de Falha.

Por sua vez, no lado direito, onde se representam os Grandes Acontecimentos (**GA**), deparamo-nos com a presença dos Acontecimentos Críticos Secundários, designados por **ACS**, assim como pelos chamados Fenómenos Perigosos, sendo estes denominados por **FP**. O lado direito da Figura 1.2, representa de forma clara todo o percurso, até aos Grandes Acontecimentos. Trata-se portanto de uma árvore de acontecimentos, em que o acontecimento crítico provoca os acontecimentos críticos secundários e os fenómenos perigosos. Tais acontecimentos e fenómenos vão despoletar os Grandes Acontecimentos, representando as consequências inerentes aos acontecimentos críticos; ou seja, cada GA representa um cenário específico de acidente.

A quantificação do risco adquire grande importância, pois permite a elaboração de uma análise que tem como intuito principal a identificação das possíveis soluções, a fim de reduzir o risco e as consequências inerentes ao cenário de risco como, por exemplo, a identificação de ausência de barreiras. É possível calcular a

probabilidade inerente à falha de cada barreira de segurança, desde que se disponha de dados fiáveis para esse cálculo.

Quando não existem dados suficientes e fiáveis para executar o cálculo probabilístico, pode-se optar por soluções mais simples. Uma alternativa é quantificar o risco através da opinião de especialistas, aplicando a teoria dos conjuntos difusos. Permite a modelação matemática, ainda que alguns dados constituam informação subjectiva. Muito recentemente surgiu um estudo (Markowski et al, 2009) que demonstra a aplicação conjunta do diagrama “Bow-Tie” (para análise) com a teoria dos conjuntos difusos (para quantificação). Esta combinação parece constituir uma ideia viável e inovadora, que poderá ser explorada em trabalhos futuros.

Outra alternativa, mais simples e mais clássica, é fazer uma avaliação essencialmente qualitativa, estimando-se a grandeza do risco a partir de uma matriz de risco.

O diagrama “Bow-Tie” é utilizado em diversos projectos Europeus. A abordagem “Bow-Tie” suporta, por exemplo, a metodologia denominada como MIMAH, *Methodology For The Identification Of Major Accident Hazard*, que tem como objectivo principal a identificação de todos os potenciais cenários de grandes acidentes a nível industrial (Dianous & Fiévez, 2006). Esta metodologia encontra-se integrada no projecto ARAMIS, *Accidental Risk Assessment Methodology For Industries*, segundo a Directiva SEVESO II.

Até aqui referenciaram-se os aspectos mais importantes acerca da abordagem “Bow Tie”. O ponto seguinte será referente à evolução da mesma até à presente data.

1.2.2 Origem e evolução do modelo “Bow-Tie”

A origem do diagrama “Bow-Tie” é desconhecida, tendo esses registos sido perdidos ao longo do tempo. Acredita-se que originalmente se denominava de “diagrama borboleta” e que evoluiu dos diagramas causa/consequência da década de 1970. A primeira referência a esta metodologia apareceu na Universidade de Queensland, Austrália (BowTie Pro, www.bowtiepro.com/bowtie_history.asp) e data de 1979. Posteriormente a metodologia amadureceu na década de 90 após o desastre de “Piper Alpha” que ocorreu numa plataforma de petróleo no mar do Norte. Por fim, em 1999, através de um projecto do Grupo Shell, esta nova abordagem centrada no acontecimento crítico, em conjunto com árvores de falhas e acontecimentos (tratando-se assim de uma ferramenta probabilística) foi denominada de “Hazard, Effect and Management Process” (HEMP), ficando conhecida como diagrama Bow-Tie, permitindo identificar os perigos e avaliar os riscos associados (Zuijderduijn, 1999; Hurst & Lewis, 2005).

Na primeira década deste milénio, a ocorrência de acidentes industriais graves, como a explosão em Toulouse, França, 2001, de cerca de quarenta toneladas de nitrato de amónio, ou ainda, a detonação accidental de um paiol militar em Lagos, na Nigéria em 2002, suscitou grandes preocupações quanto à segurança pública e à competência das autoridades regulamentares na prevenção de acidentes industriais. Relacionado com tais acontecimentos, e no âmbito da directiva SEVESO II, surgiu a criação de uma metodologia apoiada por especialistas de toda a Europa para o controlo do risco. Em 2002 foi criado o projecto ARAMIS “Accidental Risk Assessment Methodology for Industries” com o objectivo de desenvolver um método integrado de avaliação de risco usado pela indústria, combinando então as vantagens de abordagens determinísticas com as baseadas no risco, como refere Salvi & Debray (2006).

Como já mencionado, no âmbito do projecto ARAMIS, o modelo “Bow-Tie” é utilizado na identificação de cenários de acidente, sendo considerado como um processo fulcral na avaliação de risco, servindo de base para a quantificação global do mesmo. Contudo, não podemos deixar de mencionar a sua constituição, ou seja, a junção entre duas metodologias: MIMAH (*Methodology For The Identification Of Major Accident Hazard*) e MIRAS (*Methodology For The Identification Of Reference Accident Scenarios*). A seguir apresenta-se um resumo de cada uma das metodologias referidas (i.e., MIMAH e MIRAS) listando os passos a seguir em cada uma delas.

No que diz respeito à metodologia MIMAH, os passos a ter em conta são enumerados da seguinte forma:

- (i) recolher a informação necessária,
- (ii) identificar equipamento potencialmente perigoso,
- (iii) seleccionar equipamento perigoso relevante,
- (iv) associar acontecimentos críticos para cada equipamento,
- (v) construir uma árvore de falhas, para cada acontecimento crítico,
- (vi) construir uma árvore de consequências para cada acontecimento crítico,
- (vii) construir o diagrama Bow-Tie completo, para cada equipamento seleccionado.

Por sua vez, a metodologia MIRAS, tem como intuito a escolha de cenários de acidente de referência, entre os maiores perigos associados a acidentes, outrora identificados pelo MIMAH, convergindo assim para uma identificação mais realista de cenários de acidente. O seu desenvolvimento é executado para cada Bow-Tie, tendo estes sido criados através da metodologia MIMAH. O objectivo é alcançado através de oito etapas, sendo estas:

- (i) recolher os dados necessários,
- (ii) escolher entre os passos iii ou iv,
- (iii) calcular a frequência do acontecimento crítico através da análise da árvore de falhas, ou
- (iv) estimar a frequência do acontecimento crítico, através da frequência de acontecimentos críticos gerais,
- (v) calcular as frequências de fenómenos perigosos,
- (vi) estimar a classe de consequências de fenómenos perigosos,
- (vii) usar a matriz de risco para seleccionar cenários de acidentes de referência, e por fim,
- (viii) preparar informação para estimar a gravidade.

Para um estudo mais aprofundado, poderá ser consultado Delvosalle et al (2006).

A metodologia ARAMIS permite reconhecer o que é necessário para obter um maior nível de segurança podendo servir como base de argumentação para um investimento nas barreiras de segurança (Dianous & Fiévez, 2006).

Desde 2002 o diagrama “Bow-Tie” manteve-se como uma metodologia probabilística durante muitos anos, e a maioria dos novos desenvolvimentos esteve sempre ligada aos acidentes industriais graves e à Directiva Seveso. Em paralelo começaram também a aparecer pacotes de *software* comerciais que usam matrizes para uma avaliação qualitativa.

A aplicação desta metodologia à área dos acidentes ocupacionais surge pela primeira vez em 2005/2006, através do projecto WORM, (*Workgroup Occupational Risk Model*), com uma aplicação também probabilística. O projecto teve início na

Holanda onde a preocupação do governo originou um projecto de larga escala para otimizar o nível de segurança no local de trabalho, assim como induzir uma redução de 10 a 15% dos acidentes, tal como discutido por Hale et al. (2007). Este projecto tem como objectivo estabelecer uma metodologia de avaliação quantitativa de risco que permita equacionar os padrões mais relevantes de acidentes ocupacionais e reduzir o risco. No domínio ocupacional, existem também outros estudos (Silva & Jacinto, 2007; Jacinto & Silva, 2010) que associam o diagrama “Bow-Tie” a uma avaliação semi-quantitativa baseada em frequências reais de vários tipos de acidente.

A quantificação dos cenários e eficiência das barreiras de segurança podem ajudar as empresas a obter um melhor resultado no que diz respeito ao inventário e avaliação do risco, assim como permitem apoiar decisões mais eficazes do ponto de vista dos custos relacionados com medidas de segurança, conducentes à redução do risco.

A adaptação desta metodologia a acidentes ocupacionais apresenta, no entanto, dificuldades no cálculo de probabilidades de ocorrência de acidentes. A aplicabilidade aos acidentes de trabalho não será, no entanto, aprofundada aqui pois não é esse o principal objecto de estudo deste trabalho.

A preocupação com a segurança tem evoluído ao ponto de surgirem sistemas de gestão, acordos e protocolos internacionais, certificações de conformidade, melhorias na legislação, formação e consciencialização para os profissionais da área assim como para a sociedade. A procura de novos métodos para análise e avaliação de risco também continua a evoluir tendo como exemplo a junção do diagrama “Bow-Tie” com modelos matemáticos que permitem tratar sistematicamente a imprecisão e a incerteza. Este tópico será igualmente coberto nesta revisão da

literatura, embora não tenha sido aplicado ao caso de estudo, pelos motivos já referidos.

O ponto seguinte será referente às barreiras de segurança, parte essencial na prevenção e protecção de acidentes.

1.3 Barreiras de Segurança

A necessidade de implementar soluções para prevenir acidentes e minimizar as consequências originou mecanismos de prevenção e protecção: as chamadas barreiras de segurança. O conceito de barreira de segurança teve origem num modelo de acidentes denominado de modelo da energia, proposto em 1961 por Gibson, e desenvolvido posteriormente, em 1980, por Haddon, com a apresentação das dez estratégias na prevenção de acidentes, tal como descrito por Sklet (2006).

Existem muitas definições de barreira de segurança, não existindo no entanto uma terminologia comum que as caracterize.

A definição de barreira de segurança segundo Harms-Ringdahl (2001), por exemplo, enuncia que uma barreira de segurança é uma função técnica, organizacional ou a junção destas, que permita reduzir a probabilidade e/ou a consequência de um acidente ou qualquer outro acontecimento não desejado no sistema.

Outro autor de destaque neste tópico, Sklet (2006), apresentou uma base para futura discussão quanto à sua definição: meios físicos e/ou não físicos com o objectivo de prevenir, controlar ou mitigar acidentes ou acontecimentos indesejados. Na sua discussão Sklet realça ainda que as barreiras de segurança devem estar

directamente relacionadas com o acontecimento ou cenário do acidente e que os factores de risco que afectam o seu desempenho não devem ser incluídos. Esta afirmação é de extrema importância no que diz respeito aos diagramas de barreiras de segurança, estando assim de acordo com o conceito usado no projecto ARAMIS, já referido antes.

Segundo Dianous & Fiévez (2006), existem quatro tipos principais de barreiras de segurança: activas, passivas, simbólicas e acções humanas.

As **barreiras de segurança activas** requerem sempre uma sequência constituída por detecção, diagnóstico, e por fim acção, ou seja efectuam uma acção em resposta a um certo estado ou condição. Quanto às **barreiras passivas**, estas encontram-se sempre accionadas sem ser necessária a intervenção humana, de fontes de energia ou informação. As **barreiras simbólicas** implicam a interpretação de uma pessoa para cumprirem o seu objectivo (e.g.: avisos passivos, como sinalização de área proibida ou de proibição de fumar).



Figura 1.3 - Exemplo de barreiras simbólicas

Por último as **acções humanas** são baseadas no conhecimento do operador e podem fazer parte da sequência de detecção, diagnóstico e acção.

Quanto ao termo **Função de Barreira** a definição apresentada por Sklet, em 2006, foi a de uma “função planeada para prevenir, controlar ou atenuar acidentes ou acontecimentos indesejados”, preferencialmente definida por um verbo e um nome, como por exemplo: “abrir disjuntor” (Carracinha, 2009). Segundo o projecto ARAMIS, no contexto da Directiva Seveso II, as sugestões de verbos aconselhadas são: evitar, prevenir, controlar e proteger. Se uma função de barreira for bem sucedida, esta irá ter um efeito directo e significativo sobre a ocorrência e/ou as consequências de determinado acontecimento indesejado ou acidente. Se tal não acontecer, é classificado apenas de factor ou função influenciador(a) de risco.

É também relevante a definição de **Sistema de Barreira**, pois esta descreve como a função de barreira é executada. Um Sistema de Barreira é um sistema que foi concebido e implementado para desempenhar uma ou mais funções de segurança. O sistema de barreira pode ser constituído por diferentes tipos de elementos, tanto físicos / técnicos, ou actividades operacionais executadas por pessoas, ou ainda uma combinação destes (Sklet, 2006).

Não existe uma única maneira de classificar os sistemas de barreiras. A classificação apresentada, por exemplo, por Hollnagel (2008), tem como base a sua natureza. A Tabela 1.1 apresenta os quatro tipos de classificação possíveis de sistemas de barreiras, assim como alguns exemplos, para uma melhor percepção.

Tabela 1.1 - Classificação de Barreiras (adaptado de Hollnagel, 2008)

Sistema de Barreiras	Função Barreira	Exemplos
Físicas	Conter ou proteger. Prevenir transporte de algo da localização actual ou contra outro.	Paredes, portas, edifícios, restrição física de acesso, vedações, recipientes, etc.
	Restrição ou prevenção de movimento ou transporte de massa ou energia.	Cintos de segurança, vedações, distâncias espaciais, etc.
	Manter junto. Coesão, resistência	Componentes com dificuldade de serem quebrados.
	Separar, proteger, bloquear.	Purificadores, filtros, etc.
Funcionais	Prevenir o movimento ou acção (mecânico)	Cadeados, alinhamento do equipamento, etc.
	Prevenir o movimento ou acção (lógico)	<i>Passwords</i> , códigos de entrada, sequências de acção, etc.
	Entravar; Dificultar ou impedir acções	Distância, atrasos, sincronização, encravamentos, etc.
	Amortecer; Atenuar	Redução de ruído activa, suspensão activa
	Dissipação de energia, extinção	<i>Air bags, sprinklers</i>
Simbólicas	Contrariar ou frustrar (visuais, <i>interface design</i> táctico)	Codificação de funções, etiquetas e avisos, etc.
	Regular acções	Instruções, procedimentos, diálogos, etc.
	Indicar o <i>status</i> ou condição do sistema (sinais ou/e símbolos)	Sinais (e.g. trânsito), sinais (visuais, sonoros), avisos, alarmes, etc.
Incorpóreas	Conformidade	Normas éticas, morais, sociais ou pressão de grupo
	Prescrições: regras, leis, guiões ,manuais, proibições	Regras, restrições, leis (condicionais ou incondicionais), etc.

A qualidade das barreiras influencia directamente a eficiência do controlo do risco, sendo por isso relevante mencionar os critérios para a avaliação destas. Existem no entanto diversos critérios para avaliação da qualidade e desempenho.

Quando o estudo é efectuado após o acidente ocorrer é necessário ter especial atenção aos seguintes tópicos:

- Local e desempenho das barreiras,
- Barreiras colocadas mas que não foram utilizadas,
- Barreiras exigidas mas que não estavam colocadas.

No entanto, quando se pretendem tomar medidas preventivas, é necessário analisar diversos cenários, aumentando assim a complexidade. Existem diversos critérios para avaliação, sendo um deles composto pelos seguintes critérios (Hollnagel, 2004):

- Eficiência: quão bem funciona a barreira para atingir o seu objectivo;
- Recursos exigidos: o que é necessário para implementação e manutenção da barreira em termos de custos;
- Robustez (fiabilidade): quão resistente e fiável é a barreira;
- Atraso na implementação: o tempo desde a concepção até à implementação da barreira;
- Aplicabilidade a tarefas críticas de segurança: questões relacionadas com barreiras específicas que são necessárias, mas por outro lado são sujeitas a várias restrições administrativas ou regulamentares;
- Disponibilidade: se a barreira consegue satisfazer o seu propósito quando é necessário (crítico para barreiras designadas para condições raras);
- Avaliação: quão fácil é de determinar se a barreira funciona como esperado, tanto durante a sua concepção como na sua utilização;

- Dependência humana: até que ponto a barreira não necessita de pessoas para atingir o seu objectivo.

A interligação destes critérios com os diversos tipos de barreiras é apresentada na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 - Avaliação da Qualidade de um sistema de barreiras (adaptado Hollnagel, 2004)

	Físicas	Funcionais	Simbólicas	Incorpóreas
Eficiência	Alta	Alta	Média	Baixa
Recursos exigidos	Média- Alta	Média-Baixa	Média- Baixa	Baixa
Robustez	Média- Alta	Média-Alta	Média- Baixa	Baixa
Atraso na implementação	Longo	Médio- Longo	Médio	Curto
Aplicabilidade nas tarefas de segurança	Baixo	Médio	Baixo	Baixo
Disponibilidade	Alta	Baixa-Alta	Alta	Incerta
Avaliação	Fácil	Difícil	Difícil	Difícil
Dependência das pessoas	Nada	Baixa	Alta	Alta

Entre o acontecimento crítico e as consequências podem ainda existir medidas de emergência, definindo-se estas como um caso particular de barreiras de segurança cuja acção é imediata à ocorrência do acontecimento crítico. A eficácia e desempenho destas últimas exercem forte influência sobre a gravidade das consequências, podendo marcar a diferença entre o indivíduo sinistrado sofrer uma lesão ligeira ou uma lesão grave ou mesmo mortal (Silva & Jacinto, 2007).

1.4 Teoria dos Conjuntos Difusos

Como já referido anteriormente, este subcapítulo foi mantido na dissertação essencialmente para servir de base a trabalhos futuros onde se possa aplicar esta abordagem. A teoria dos conjuntos difusos é uma das abordagens cada vez mais utilizada para quantificar riscos.

A linguagem humana não consegue precisar com exactidão todos os factores envolvidos em modelos complexos, sendo por isso uma linguagem pobre para modelação.

Segundo Zimmermann (2004), os dois problemas principais relacionados com modelos factuais ou com linguagens de modelação são:

- As situações reais frequentemente não são exactas nem determinísticas, pelo que não podem ser descritas de modo preciso;
- A descrição total de um sistema real frequentemente requer muito mais dados detalhados do que um ser humano consegue, em simultâneo, reconhecer, processar e compreender.

A necessidade de uma abordagem que permita modelar estas situações originou a teoria dos conjuntos difusos, criada nos anos 60 por Zadeh (1965). Esta teoria permite o tratamento de dados imprecisos e difusos, tanto de forma quantitativa, como qualitativa e é caracterizada por:

- Ser uma teoria que fornece um enquadramento matemático que permite estudar, de modo preciso e rigoroso, fenómenos conceptualmente vagos;

- Ter a capacidade de lidar com a incerteza inerente às situações do mundo real e de se adaptar a diferentes circunstâncias e contextos.

O raciocínio humano é aproximado, em oposição a exacto, e o elemento chave no processo de raciocínio humano não são números mas sim classes de objectos, cuja transição de membro para não membro é gradual (Zadeh, 1973).

Diariamente são utilizadas expressões com significado vago, tais como “temperatura elevada” ou “pessoa baixa”; tratam-se de valores linguísticos que são utilizados na linguagem natural. A teoria dos conjuntos difusos é assim uma ferramenta poderosa para manipular informação vaga, originada pela percepção humana.

No entanto, “a teoria dos conjuntos difusos é uma ferramenta matemática (não existe nada de difuso nesta teoria!) que permite tratar sistematicamente a imprecisão e a incerteza” (Nunes, 2003).

Têm surgido vários estudos que aplicam esta teoria em diversas áreas como Ergonomia, Avaliação de Risco ou Análise de Segurança tal como se pode constatar pelos trabalhos de Nunes (2003), Grassi et al (2009), Markowski et al (2009), e Guimarães & Lapa, (2007). A existência de diversas associações que suportam a utilização da teoria difusa como por exemplo a *International Fuzzy Systems Association* ou a *European Society for Fuzzy Logic and Technology*, realça a importância que esta teoria está a adquirir no mundo científico e tecnológico.

Os conjuntos difusos não têm uma fronteira bem definida. A pertença a um conjunto é indicada pelo grau, que varia entre zero e um. Pela teoria de conjuntos clássica um elemento pertence ou não a um conjunto. Na teoria dos conjuntos difusos um elemento pode pertencer a mais do que um conjunto difuso. Quando o

grau de pertença é igual a zero, esse elemento não pertence ao conjunto, sendo que quanto mais próximo do valor um, maior será o grau de pertença a esse conjunto.

Na Figura 1.4, encontra-se a representação deste conceito sendo assim possível verificar a inexistência de uma fronteira bem definida. Todos os elementos na região central do conjunto difuso pertencem ao conjunto, em oposição aos elementos que se encontram fora da região sombreada que não pertencem ao conjunto difuso. Os elementos compreendidos na zona sombreada possuem graus diferentes de pertença ao conjunto sendo gradual a transição de membro para não membro.

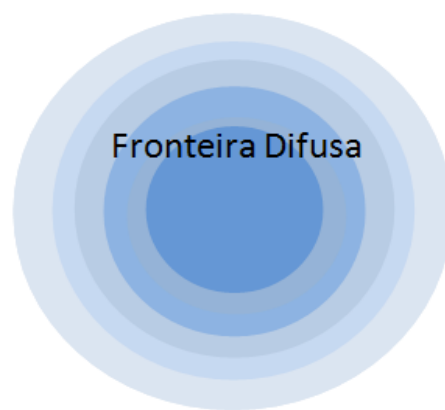


Figura 1.4 - Representação esquemática de um conjunto difuso

As funções de pertença permitem definir um conjunto difuso podendo ser contínuas ou discretas e adquirir diversas formas. Na Figura 1.5 encontram-se dois exemplos de funções de pertença discreta e contínua.

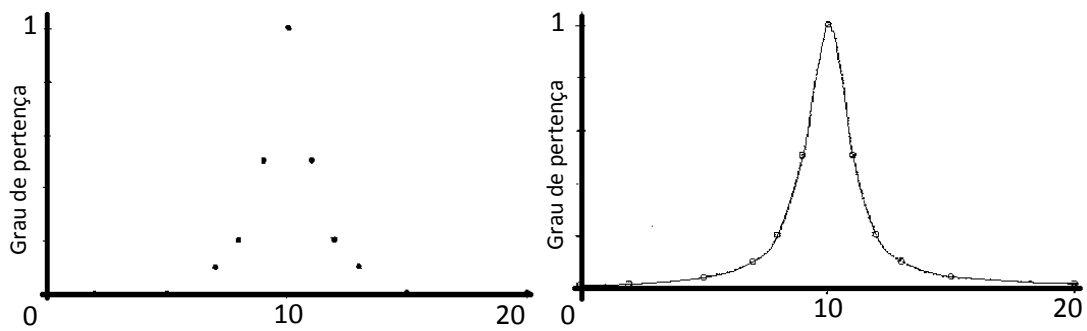


Figura 1.5 - Funções de pertinência discreta e contínua (Nunes, 2003)

As formas mais usuais são as funções quadráticas e as lineares (triangulares ou trapezoidais). Na Figura 1.6 encontram-se alguns exemplos de funções de pertinência.

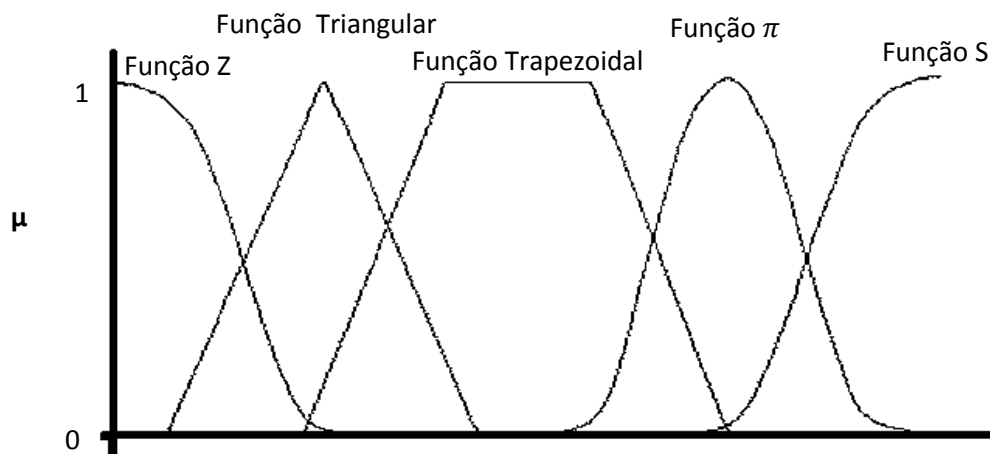


Figura 1.6 - Funções de pertinência de tipo Quadrático (S, Z e π) e Linear (Triangular e Trapezoidal), (Nunes, 2003)

Qualquer elemento do universo onde a função de pertinência obtém valores positivos é designado de **suporte**.

Um conjunto difuso pode ainda ser convexo se qualquer recta que una qualquer par de pontos do conjunto contenha somente pontos pertencentes ao conjunto. Na Figura 1.7 encontram-se exemplos de um conjunto difuso convexo e um conjunto difuso não convexo.

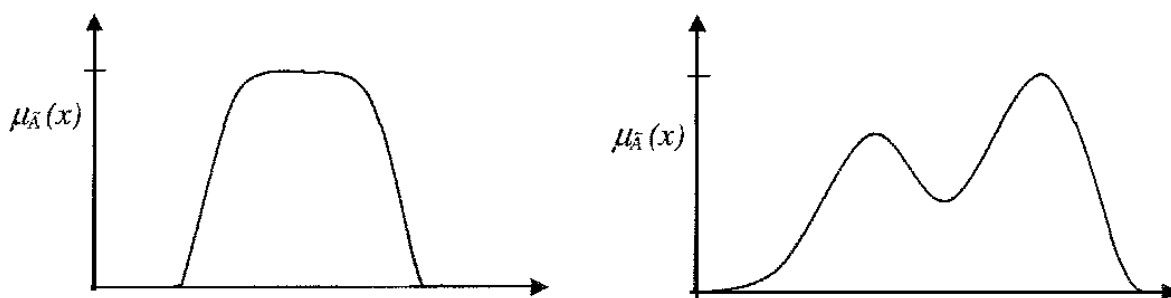


Figura 1.7 - Conjunto difuso convexo e não convexo (Nunes, 2003)

Por fim, existe ainda a definição de **cardinalidade** de um conjunto difuso que tem como significado a soma dos graus de pertença de todos os elementos de um determinado universo.

A teoria dos conjuntos difusos, ao facilitar o tratamento de dados imprecisos e incertos, torna-se uma importante ferramenta para ser utilizada na avaliação de risco.

1.5 Modelo “Bow-Tie” e Teoria dos Conjuntos Difusos

Uma possível aplicação da teoria dos conjuntos difusos, é fazer a associação da mesma ao modelo “Bow-Tie”, permitindo assim o uso de dados imprecisos e aproximados para o cálculo da possibilidade dos diversos cenários criados no diagrama. A obtenção de dados para uma análise quantitativa é frequentemente escassa ou difícil de obter; por essa razão Markowski et al (2009) publicaram pela primeira vez a conjugação destas duas abordagens utilizando a teoria difusa para quantificar o risco de um diagrama “Bow-Tie”, explicando em detalhe a transição de quantificação probabilística para quantificação pelos conjuntos difusos.

As conclusões retiradas pelos autores desse trabalho foram as seguintes:

- O processo de análise de segurança é uma tarefa complexa, representando um número de incertezas ligadas à falta de informação, podendo originar a não consideração de importantes factores de segurança.
- O modelo “Bow-Tie” que é constituído por uma árvore de falhas e uma árvore de acontecimentos para um cenário específico de acidente tem como estrutura o conhecimento adquirido, necessitando de um tratamento especial de subjectividade e incerteza. A aplicação da teoria dos conjuntos difusos pode melhorar o processo de aquisição de dados.
- A aplicação da teoria dos conjuntos difusos ao modelo “Bow-Tie” foi proposta e verificada para um caso de estudo simples. Os dados finais confirmam que são mais realistas e vantajosos em relação a estimativas com pontos únicos.
- O sucesso deste método depende da qualidade dos dados de falha recolhidos, assim como da cooperação dos funcionários da unidade industrial em análise.

Apesar de este ter sido o primeiro trabalho a conjugar o modelo “Bow-Tie” com a lógica difusa, já tinham sido efectuados alguns estudos com aplicação apenas parcial, ou seja, apenas numa árvore de falhas (e.g.: Geymar & Ebecken, 1995; Kim et al, 1996; Singer, 1990) ou árvore de acontecimentos (Kenatrangul, 1991; Markowski, 2006) como citado por Markowskiet al (2009).

1.6 A Matriz de Risco

Existem diversas ferramentas e metodologias para avaliação de riscos, sendo a matriz de risco uma delas.

Através de uma matriz de risco é possível efectuar uma avaliação de risco qualitativa ou semi-qualitativa, estabelecendo a ligação entre a frequência e as consequências (por vezes difíceis de quantificar). A matriz pode ser utilizada em diversas avaliações como por exemplo: danos pessoais, ambientais ou propriedade/instalações; para isso é necessário estabelecer critérios adequados a cada domínio avaliado.

A matriz de risco proposta pela norma BS 8800:2004, é apresentada a seguir, na Tabela 1.3:

Tabela 1.3 - Matriz de risco (tradução da BS 8800:2004)

Possibilidade de ocorrer dano	Gravidade do dano		
	Ligeiro	Moderado	Extremo / Elevado
Muito improvável (raro)	Risco muito baixo	Risco muito baixo	Risco elevado
Pouco provável	Risco muito baixo	Risco médio	Risco muito elevado
Provável / Possível	Risco baixo	Risco elevado	Risco muito elevado
Muito provável (esperado)	Risco baixo	Risco muito elevado	Risco muito elevado

A matriz apresentada é apenas um exemplo, podendo haver adaptações de concepção e tamanho, de acordo com as exigências de cada empresa ou

organização. Os critérios de tolerabilidade ao risco também estão presentes nesta norma e são os apresentados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 - Tolerabilidade ao risco (tradução da BS 8800:2004)

Nível do risco	Tolerabilidade
Muito Baixo	Aceitável
Baixo	Riscos que devem ser reduzidos de forma a serem considerados toleráveis ou aceitáveis
Médio	
Elevado	
Muito Elevado	Inaceitável

É relevante referir que as três categorias intermédias pertencem a uma zona designada como ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), ou seja, o risco é tolerável apenas se a sua redução for impraticável ou não justificar os custos. Quanto ao risco inaceitável, tem obrigatoriamente de ser controlado independentemente dos custos associados. A norma BS 8800 também menciona orientações para medidas correctivas correspondentes a cada nível de risco, tal como apresentado a seguir.

Tabela 1.5 - Orientações para medidas correctivas de acordo com o nível de risco

Nível do Risco	Orientações para medidas correctivas
Muito Baixo	Riscos considerados aceitáveis, não sendo necessárias outras acções para além daquelas que garantem que o controlo é mantido.
Baixo	Não são necessários controlos adicionais a não ser que possam ser implementados a muito baixo custo (tempo, dinheiro e esforço). As acções para redução de riscos não têm prioridade, mas devem existir disposições para garantir que o controlo é mantido.
Médio	A redução do risco deve ser equacionada para nível tolerável ou, se aplicável, para aceitável, num período de tempo definido. Procedimentos para garantir que o controlo é mantido devem ser estabelecidos.
Elevado	Desenvolvidos esforços substanciais para reduzir o risco e medidas implementadas com urgência em período de tempo definido. A suspensão ou restrição da actividade pode ser considerada, assim como a atribuição de recursos consideráveis para a implementação de medidas adicionais de controlo. Procedimentos para garantir que o controlo é mantido também têm de ser considerados.
Muito Elevado	Riscos inaceitáveis com melhorias substanciais necessárias para que haja redução do controlo do risco para níveis toleráveis ou aceitáveis. A actividade de trabalho deve ser suspensa até que as medidas exigidas estejam implementadas, diminuindo assim o risco. O trabalho não deverá ser retomado até haver redução do risco.

A aplicação de medidas e sistemas de controlo do risco tem como objectivo a redução da probabilidade ou da gravidade do dano, ou preferencialmente de ambos. A prioridade será eliminar os perigos ou combater os riscos na fonte, o que na realidade, nem sempre é possível, como se irá constatar nos próximos capítulos, que são constituídos por uma vertente mais prática, tendo como base o caso de estudo.

2. Metodologia

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer as linhas orientadoras para a elaboração deste trabalho que foi dividido em duas fases: a criação do diagrama “Bow-Tie” e a aplicação de matrizes de risco.

2.1 Desenvolvimento do diagrama “Bow-Tie”

O primeiro passo foi a construção do diagrama “Bow-Tie” para o caso em análise. Para a criação do diagrama (causas, consequências ou cenários possíveis e respectivamente barreiras) foi decidido seleccionar um caso (acidente) que tinha ocorrido num passado recente. A informação desse acidente específico serviu apenas como ponto de partida. A essa informação foram acrescentados outros perigos potenciais e outros “caminhos de falha” que poderiam ter originado o mesmo acontecimento crítico; ou seja, foram mapeados vários perigos relevantes e possíveis, para além do que já tinha ocorrido. O acidente em causa foi um incêndio ocorrido em 2009 na central eléctrica da refinaria de Sines, da Galp Energia.

Após a escolha do caso prático, o passo seguinte foi o reconhecimento do local com uma análise dos acontecimentos (tanto já ocorridos, como outros possíveis), assim como das barreiras de segurança existentes. A identificação dos perigos e das condições perigosas foi elaborada com a participação de operadores da unidade de segurança, sendo bastante relevante a inclusão de pessoas ligadas a esta instalação pelo facto de possuírem um maior conhecimento do local.

No momento em que se realizou este trabalho, estava a ter início um processo de *revamping* da central eléctrica. De forma a evitar erros cometidos anteriormente foi decidido que uma análise e avaliação de risco de acidente, de natureza

semelhante ao já ocorrido, seria relevante. Esse estudo esteve a cargo de uma empresa de consultoria especializada e o autor desta dissertação teve a oportunidade de participar na discussão dos resultados, o que permitiu adquirir mais alguns elementos relevantes para este trabalho.

A construção do diagrama (fase de análise) constitui a 1ª fase do trabalho. Resumidamente a metodologia aplicada foi a seguinte:

1. Reconhecimento do local;
2. Levantamento das opiniões dos operadores da unidade de segurança e presença nas reuniões de discussão de resultados referentes a um *revamping* da central eléctrica;
3. Determinação de causas que podem dar origem ao acontecimento crítico assim como identificação das barreiras adequadas;
4. Determinação da relação entre perigos em termos de operadores booleanos *E* e *OU*;
5. Construção de uma árvore de causas;
6. Construção de árvore de acontecimentos, em função da progressão cronológica dos factos previsíveis, a partir do acontecimento crítico, assim como identificação de barreiras de segurança;
7. Criação de diagramas “Bow Tie”;
8. Discussão e aperfeiçoamento do diagrama.

Após o desenvolvimento do diagrama “Bow Tie”, é iniciada a segunda fase deste trabalho referente à avaliação de risco.

2.2 Aplicação de Matrizes de Risco

A avaliação de risco foi baseada na aplicação de matrizes. Para dar início a este processo foram criados três conjuntos de critérios (propriedade; pessoas; ambiente) para aplicar as matrizes de risco a cada um dos quatro cenários possíveis, representados no diagrama. No final de todos os cenários avaliados foi considerado o “nível mais elevado” do conjunto de cenários, e as recomendações de melhoria foram feitas com base nesses resultados.

Para uma melhor percepção da metodologia desta segunda fase apresenta-se um resumo de seguida:

1. Determinação de categorias de risco a analisar (consequências para a propriedade; pessoas; ambiente);
2. Criação das matrizes de risco, com os respectivos critérios;
3. Aplicação de cada matriz de risco a cada cenário.
4. Avaliação do nível de risco de cada categoria;
5. Elaboração de recomendações de melhoria.

3. Caracterização da Empresa

Neste capítulo apresenta-se uma breve caracterização da empresa, dando-se especial destaque à unidade fabril de Sines, onde foi desenvolvido o presente trabalho.

3.1 Galp Energia

A Galp Energia, SGPS, S.A. foi constituída em 22 de Abril de 1999, em resultado da reestruturação do sector energético em Portugal, para operar no sector do petróleo e do gás natural. A Galp Energia agrupou a Petrogal – a empresa refinadora e principal distribuidora de produtos petrolíferos com capacidade para abastecer todo o mercado português - e a GDP – sociedade responsável pela importação, transporte e distribuição de gás natural em Portugal.

Actualmente é a principal empresa integrada de produtos petrolíferos e gás natural do país, com uma presença crescente em Espanha e uma actividade em desenvolvimento no sector da produção e de fornecimento de energia eléctrica e térmica.

É a única empresa refinadora em Portugal com a capacidade de refinação de 310 mil barris por dia, repartida pelas refinarias de Matosinhos e de Sines.

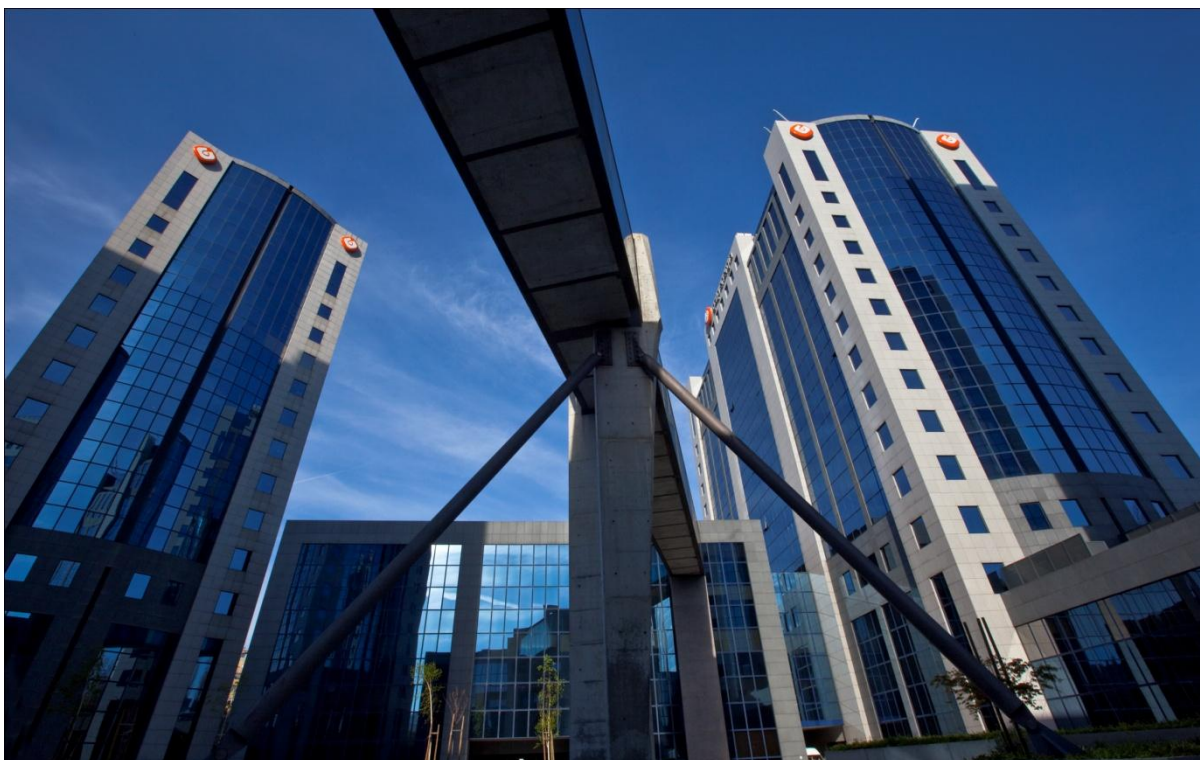


Figura 3.1 - Galp Energia (sede corporativa; Lisboa)

3.2 Refinaria de Sines

A refinaria de Sines foi inaugurada em Setembro de 1978, sendo uma das cinco refinarias europeias com capacidade para produzir gasolinas reformuladas. Pertence ao grupo Galp Energia e actualmente emprega mais de 500 colaboradores, sendo considerada uma das refinarias mais modernas da Europa.

Este complexo fabril dispõe de 27 unidades processuais para produzir gás, gasolinas, gasóleos, fuelóleos, betumes e enxofre e de uma capacidade de armazenagem de cerca de três milhões de metros cúbicos, dos quais 1,5 milhões de petróleo bruto e o restante de produtos intermédios e finais, incluindo gasolinas reformuladas para exportação (mercado norte americano).

A nível logístico, a refinaria de Sines dispõe de um pipeline multiproduto que estabelece a ligação entre Sines e Aveiras, tendo actualmente uma capacidade de

transporte de 4 milhões de toneladas de produtos por ano, sendo ainda pioneira, a nível Europeu, no transporte de combustíveis líquidos e gases petrolíferos liquefeitos.

Devido à sua localização, existem ainda infra-estruturas para recepção e despacho de matérias-primas e produtos acabados por via marítima, bem como sistemas de expedição por ferrovia e rodovia.

Actualmente a refinaria está a passar por um projecto de conversão, com vista à modernização das infra-estruturas de refinação, sendo considerado o maior projecto industrial de sempre em Portugal. Este projecto irá permitir a maximização da produção anual de gasóleo, adaptando a produção à crescente procura deste produto no mercado ibérico, assim como uma diminuição na necessidade de importação de gasóleo, levando a uma redução de 6% na factura energética de Portugal a partir de 2011.



Figura 3.2 - Refinaria de Sines

3.3 Organização e Gestão da Segurança

O Grupo Galp Energia encontra-se dividido em duas vertentes: unidades de negócio e serviços corporativos, sendo que este segundo grupo é transversal a qualquer unidade do primeiro. A Figura 3.3 permite uma identificação genérica da organização da empresa.



Figura 3.3 - Grupo Galp Energia (fonte: Galp, 2010)

A função de Gestão da Segurança está integrada com Ambiente e Qualidade pertencendo assim à unidade de Ambiente, Qualidade e Segurança (AQS) tendo como missão estabelecer e assegurar a implementação de políticas, objectivos e metodologias de Ambiente, Qualidade e Segurança na empresa. A AQS coordena a aplicação das melhores práticas conhecidas neste domínio em todas as áreas da empresa, com vista à eliminação de acidentes pessoais, materiais ou ambientais.

Relativamente à refinaria de Sines o organograma onde a unidade de AQS está enquadrada é o apresentado na Figura 3.4.

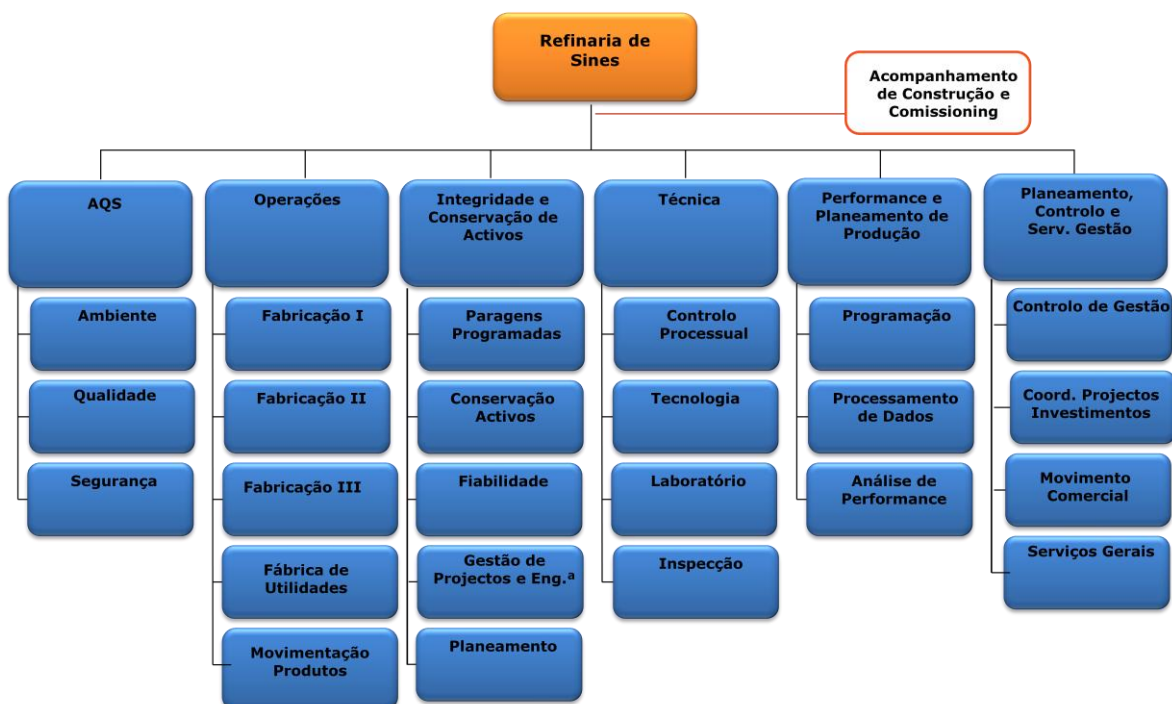


Figura 3.4 - Organograma da Refinaria de Sines (fonte: Galp, 2010)

As atribuições da unidade de AQS são as seguintes:

- Efectuar o acompanhamento dos indicadores relevantes em termos de AQS, de modo a detectar eventuais situações de desvio/tendência de desvio, por forma a contribuir para a atempada tomada de decisões e implementação de medidas correctivas ;
- Assegurar a disponibilização de informação e relatórios no âmbito do Ambiente, Qualidade e Segurança às autoridades competentes, coordenando e assegurando a recolha e tratamento de informação, de acordo com as obrigações legais;

- Assegurar a análise e resposta às reclamações da qualidade dos produtos ou serviços, recebidas dos clientes internos e/ou externos, de acordo com os prazos constantes dos níveis de serviço acordados;
- Coordenar a activação dos Planos de Emergência, efectuando o interface com entidades locais, tais como Bombeiros, Serviço Nacional de Protecção Civil, entre outros;
- Coordenar a elaboração do Plano de Simulacros e testes aos equipamentos de emergência, bem como assegurar a sua execução, nomeadamente no que se refere às acções de formação dos membros da brigada volante.

A Refinaria de Sines, assim como as infra-estruturas de transporte de mercadorias perigosas, estão abrangidas a nível da segurança operacional pelo Decreto-Lei nº 254/2007, de 12 de Julho, que transpõe para o Direito Português a Directiva 2003/105/CE e pelo Decreto-Lei 236/2003 referente a atmosferas explosivas (ATEX). Ao nível de segurança ocupacional (vertente de Saúde e Segurança do Trabalho) está implementado o sistema de gestão de segurança OHSAS 18001/ NP 4397.

A ambição da Galp Energia é atingir a meta dos zero acidentes. Para a empresa, a segurança de pessoas, bens e ambiente é uma prioridade, comprometendo-se a assumir que a gestão de segurança, saúde e ambiente (SSA) é uma responsabilidade directa dos líderes e a prevenção de riscos uma responsabilidade de todos na organização (Galp Energia, 2009).

4. Caso de estudo

No presente capítulo é feita uma análise e avaliação de risco de incêndio tendo o ponto de partida sido o acidente ocorrido na central eléctrica da refinaria de Sines (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Vista exterior da Central Eléctrica

4.1 Caracterização do edifício

Esta análise e avaliação de risco de deflagração de incêndio abrangeu a unidade de produção de energia da refinaria de Sines. Este edifício foi o local onde deflagrou um incêndio em Janeiro de 2009, sendo que a informação disponível sobre este acidente real serviu de ponto de partida para o estudo feito posteriormente.

O edifício é constituído pela sala dos turbogrupos, sala de controlo e salas eléctricas, como pode ser observado pelas Figuras 4.2 e 4.3.

4.2 Descrição do acidente

O acidente ocorrido neste edifício deveu-se a um disparo do turbogerador TG1, onde a turbina entrou em sobrevelocidade, o que ocasionou a sua destruição. A libertação de óleo em contacto com um ponto quente, resultante da destruição da máquina ou do corpo da turbina, originou um incêndio que se desenvolveu no piso do r/c da sala de turbogrupos. O incêndio foi alimentado pela bombagem de cerca de 4000 litros de óleo de lubrificação, durante um período estimado de 3 minutos.

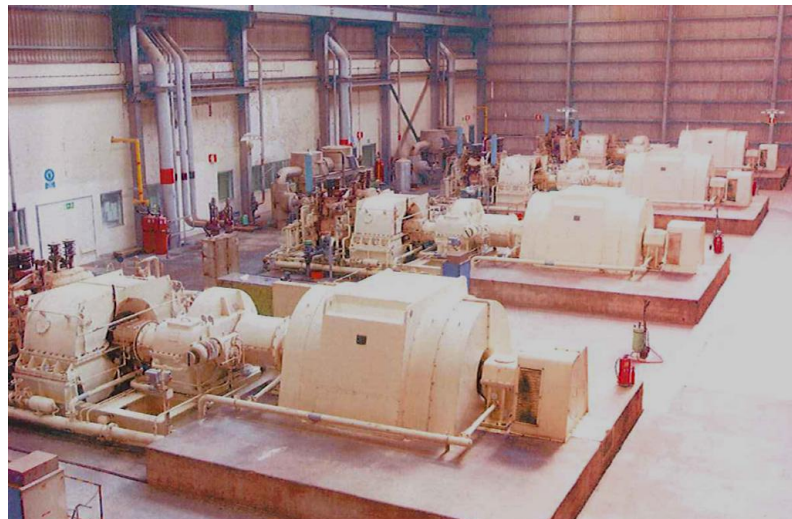


Figura 4.4 - Sala Turbogrupos

O fumo proveniente do incêndio invadiu a sala de controlo das utilidades, obrigando assim à sua evacuação.

O incêndio propagou-se para a sala eléctrica PP1 através de óleo que correu por uma esteira de cabos, tendo posteriormente alastrado para as salas PP2/PP3 e sala de UPS. O incêndio no PP1 não foi detectado na sua fase inicial pois os alarmes sonoros de detecção de fumo estão encaminhados para a sala de controlo

das utilidades, que já tinha sido evacuada. Estes alarmes também são enviados para a central de comunicações de segurança, mas apenas em sinal visual.

O combate ao incêndio nas salas eléctricas foi efectuado com o uso de água, o que provocou a ocorrência de choques eléctricos nos operadores de segurança, impedindo-os de terem uma acção mais eficaz, e consequentemente deu origem a danos extensos nos quadros eléctricos e cablagens destas salas.

O incêndio foi dado como extinto pelos operadores de segurança após cerca de 5 horas, e devido a este incêndio, a produção da refinaria de Sines, esteve suspensa durante dois meses, o que representou um prejuízo de milhões de euros para a empresa.

4.3 Análise de Riscos

A análise de riscos será feita através da utilização do diagrama “Bow-Tie” sendo que o acontecimento crítico é constituído pelo “incêndio na central eléctrica”.

4.3.1 Árvore de Falhas

A primeira parte do diagrama é constituída pela árvore de falhas representando os perigos em junção com condições perigosas.

Os perigos considerados foram os seguintes:

- Falha; Rotura no gás (área envolvente);
- Falha; Rotura de gasolina (área envolvente);
- Fonte ignição activa (área envolvente ou dentro da instalação);
- Falha; Fuga de Óleos, geradores;
- Fonte calor;

- Partes activas expostas;
- Acções erróneas de pessoas;
- Entrada de animais.

Poderão existir mais perigos, por identificar, mas por questões de tempo apenas foram seleccionados os considerados mais relevantes para representação do acidente em estudo.

4.3.2 Árvore de Acontecimentos

A segunda parte do diagrama é constituída pela árvore de acontecimentos possíveis. Na Figura 4.5 encontra-se um exemplo **genérico** para um acidente industrial grave, que também seria aplicável a uma refinaria, tanto para o caso de incêndio, como para o caso de derrame accidental de substâncias perigosas.

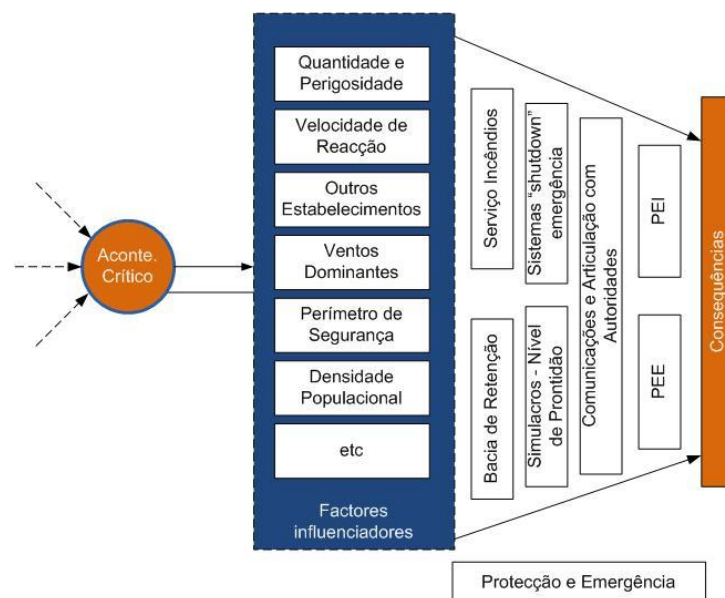


Figura 4.5 - Exemplo genérico de árvore de acontecimentos (Jacinto, 2008)

A sequência de acontecimentos seleccionados para a construção da árvore foram:

- Hora do dia?
- Detecção Automática?
- Extinto por funcionários?
- Extinto por operadores de segurança?

Dependendo do caminho que os acontecimentos seguirem, terão como resultado diferentes consequências também ilustradas no diagrama “Bow-Tie”.

4.3.3 Consequências / Cenários de Acidente

A descrição de consequências provenientes de determinado acontecimento crítico tem como objectivo a determinação dos vários “efeitos” possíveis; ou seja, dos vários cenários finais.

Desta análise de consequências resultaram quatro níveis de gravidade, sendo a letra A, representativa do cenário com menor gravidade, e a letra D o de maior gravidade. Os cenários foram os seguintes:

- A. Danos muito reduzidos e localizados;
- B. Danos moderados na central eléctrica;
- C. Danos elevados ou Perda quase total da instalação;
- D. Perda total da instalação e possibilidade de propagação às instalações vizinhas.

4.3.4 Diagrama “Bow Tie”

Da análise atrás referida, resultou o diagrama “Bow-Tie” que se apresenta a seguir (Figuras 4.6 - 4.8). Através deste diagrama é possível visualizar os factores intervenientes, desde os perigos na origem, até às consequências de cada cenário. Na Figura 4.7 é também possível visualizar as barreiras de segurança consideradas mais relevantes. Por fim, na Figura 4.8 e de acordo com o caso de estudo, é identificado no diagrama todo o percurso do acidente ocorrido em 2009.

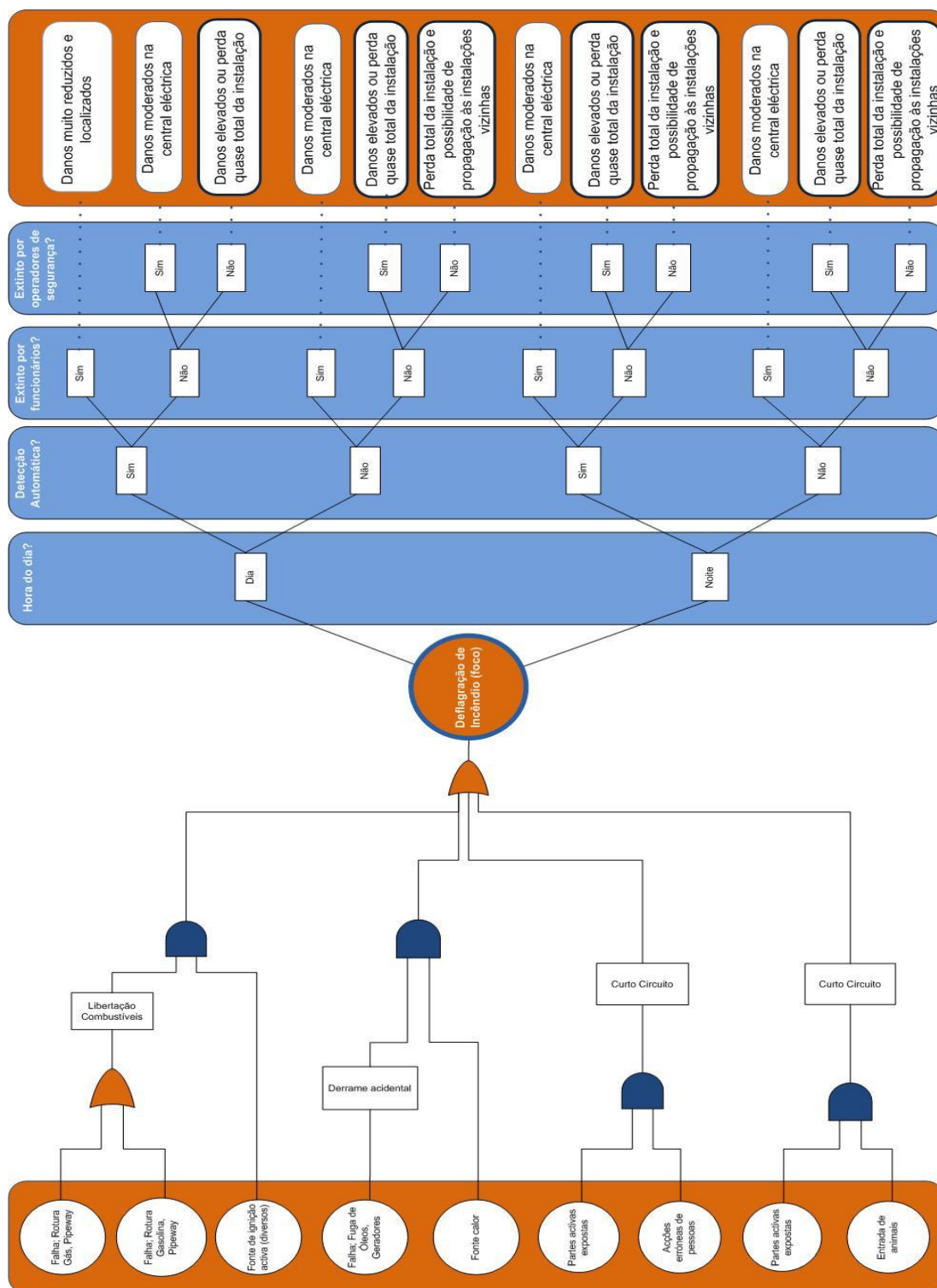


Figura 4.6 - Diagrama "Bow-Tie"

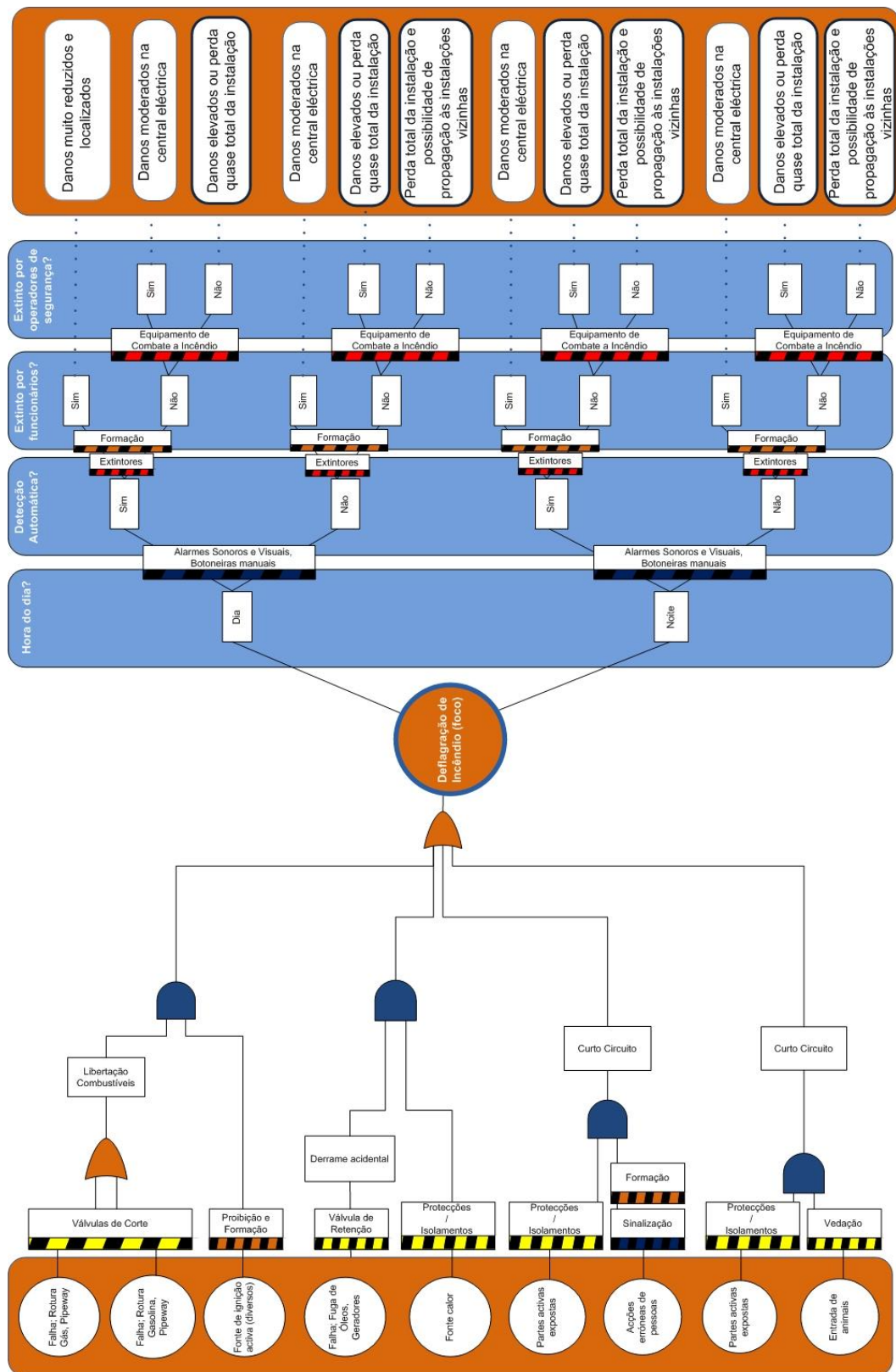


Figura 4.7 - Diagrama "Bow-Tie" completo

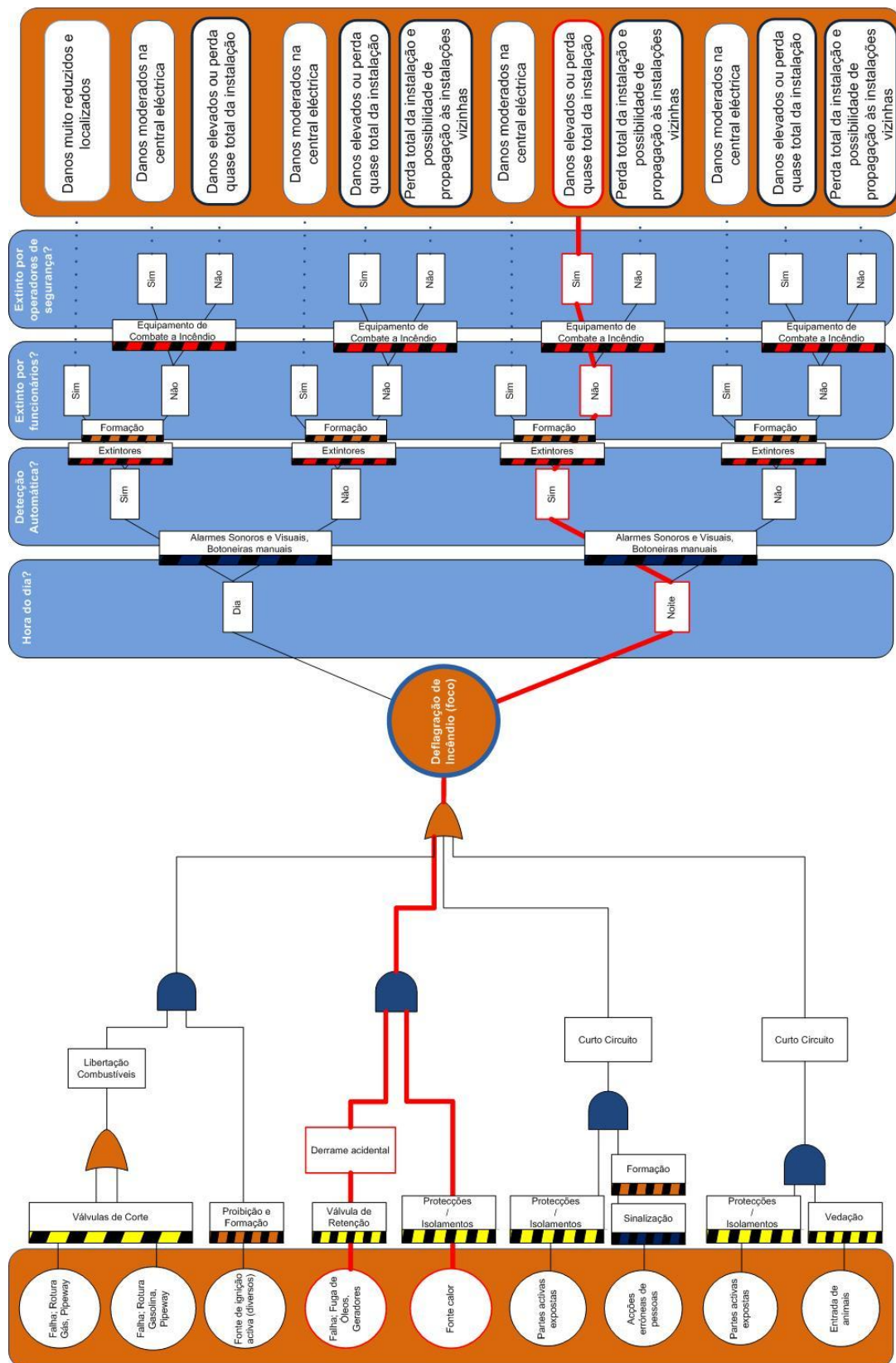


Figura 4.8 - Diagrama "Bow-Tie" referente ao acidente ocorrido em 2009

A existência de uma fuga de óleo de um gerador originou um derrame accidental que a válvula de retenção interna não foi capaz de reter. O contacto com um ponto quente resultante da destruição da máquina, ou do próprio corpo da turbina, teve como resultado a deflagração de um incêndio.

Após o acontecimento crítico são diversos os factores que estabelecem a diferença entre a gravidade das consequências. O acidente ocorreu no horário nocturno, dificultando assim a visibilidade de todo o processo (agravado ainda pelo facto de o incêndio ter ocorrido na central eléctrica, resultando num corte de fornecimento de electricidade à refinaria). Foi relevante para o tempo de resposta o facto de: o alarme ter sido accionado automaticamente, a existência de extintores e formação dos funcionários para situações de emergência. No entanto, o incêndio foi apenas extinto pelos operadores de segurança. As dificuldades em encontrar meios eficazes de combate, devido à ocorrência de choques eléctricos e à fraca visibilidade devida ao fumo, contribuíram para que resultassem danos elevados na central eléctrica e consequente paragem de produção da refinaria.

4.4 Avaliação de Riscos

A avaliação de risco foi efectuada apenas através de uma matriz de risco e não pelo modelo matemático da teoria dos conjuntos difusos por restrições de tempo. Esta última opção fica assim em aberto para trabalho futuro.

O risco foi repartido por cinco níveis diferentes os quais se apresentam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Níveis de Risco e Tolerabilidade

Nível do risco	Tolerabilidade
Risco muito baixo	Aceitável, actuação não prioritária
Risco baixo	Intervenção a médio prazo
Risco médio	Intervenção a curto prazo
Risco elevado	Actuação urgente
Risco muito elevado	Inaceitável, medidas imediatas

A avaliação da frequência (ou possibilidade de ocorrência) foi adaptada da matriz proposta pelo manual do *software* “Active Bow Tie”®.

A avaliação de risco foi focada em três categorias de critérios:

- Propriedade / Instalações;
- Pessoas;
- Ambiente.

Esses critérios são apresentados em seguida e foram estabelecidos pelo autor em articulação com a empresa.

4.4.1 Propriedade / Instalações

A matriz de risco utilizada neste caso de estudo, para Propriedade / Instalações é apresentada na Tabela 4.2 e incide nos danos materiais.

Tabela 4.2 - Matriz de Risco “Propriedade/Instalações”

Propriedade / Instalações	Sem danos	Danos ligeiros	Danos moderados	Danos graves	Perda total
Nunca antes registado na indústria	A0	B0	C0	D0	E0
Incidente já ocorrido na indústria	A1	B1	C1	D1	E1
Incidente ocorrido no local em estudo	A2	B2	C2	D2	E2
Ocorre várias vezes por ano na indústria	A3	B3	C3	D3	E3
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo	A4	B4	C4	D4	E4
Ocorre mensalmente	A5	B5	C5	D5	E5

A descrição de cada categoria de gravidade encontra-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Descrição da Gravidade “Propriedade/Instalações”

Gravidade	Critério
Sem danos	Sem ocorrência de qualquer tipo de danos materiais, mas registado.
Danos ligeiros	Ocorrência de danos meramente superficiais que não afectam o funcionamento da mesma.
Danos moderados	Danos temporariamente impeditivos ou limitadores na capacidade de operação com possibilidade de recuperação após reparação.
Danos graves	Funcionamento normal não é possível, perda de uma percentagem elevada dos sistemas e suas funcionalidades, reparação ou substituição de material é necessária.
Perda total	Destruição total de propriedade ou instalação.

Foi aplicada a matriz a cada um dos cenários desenvolvidos, tendo o resultado final sido o apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Matriz de risco “Propriedade/Instalações” aplicada aos cenários

Propriedade / Instalações	Sem danos	Danos ligeiros	Danos moderados	Danos graves	Perda total
Nunca antes registado na indústria					
Incidente já ocorrido na indústria			Cenário B		Cenário D
Incidente ocorrido no local em estudo				Cenário C	
Ocorre várias vezes por ano na indústria		Cenário A			
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo					
Ocorre mensalmente					

O critério considerado para avaliação foi o “nível mais elevado” do conjunto de cenários, correspondente ao cenário C e D, que representam risco elevado, sendo necessária uma actuação urgente.

4.4.2 Pessoas

A matriz de risco referente a pessoas encontra-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Matriz de Risco “Pessoas”

Pessoas	Sem ferimentos	Lesões ligeiras	Lesões significativas	Morte única	Múltiplas mortes
Nunca antes registado na indústria	A0	B0	C0	D0	E0
Incidente já ocorrido na indústria	A1	B1	C1	D1	E1
Incidente ocorrido no local em estudo	A2	B2	C2	D2	E2
Ocorre várias vezes por ano na indústria	A3	B3	C3	D3	E3
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo	A4	B4	C4	D4	E4
Ocorre mensalmente	A5	B5	C5	D5	E5

Os critérios de gravidade utilizados encontram-se descritos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Descrição da Gravidade “Pessoas”

Gravidade	Critério
Sem ferimentos	Sem ocorrência de lesões a funcionários e/ou de terceiros; possível ocorrência de mau estar, perda de capacidade de concentração e consequente redução da qualidade de trabalho.
Lesões ligeiras	Ocorrência de lesões sem incapacidade temporária de funcionários e/ou de terceiros; o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
Lesões significativas	Lesões com incapacidade temporária em funcionários e/ou terceiros.
Morte única	Ocorrência de morte ou lesão com incapacidade permanente.
Múltiplas mortes	Ocorrência de várias mortes ou várias pessoas com incapacidade permanente.

A correspondência de cada cenário à matriz de risco de pessoas encontra-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Matriz de Risco “Pessoas” aplicada aos cenários

Pessoas	Sem ferimentos	Lesões ligeiras	Lesões significativas	Morte única	Múltiplas mortes
Nunca antes registado na indústria					
Incidente já ocorrido na indústria			Cenário C		Cenário D
Incidente ocorrido no local em estudo		Cenário B			
Ocorre várias vezes por ano na indústria		Cenário A			
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo					
Ocorre mensalmente					

Através da Tabela anterior é possível verificar que o cenário D ocupa um nível de risco elevado, o que requer uma actuação urgente.

4.4.3 Ambiente

A matriz de risco referente aos impactos ambientais, ou seja qualquer alteração adversa do ambiente, resultante dos aspectos ambientais e/ ou perigos encontra-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Matriz de Risco “Ambiente”

Ambientais	Sem efeitos	Impacto ligeiro	Impacto significativo	Impacto elevado	Danos irreversíveis
Nunca antes registado na indústria	A0	B0	C0	D0	E0
Incidente já ocorrido na indústria	A1	B1	C1	D1	E1
Incidente ocorrido no local em estudo	A2	B2	C2	D2	E2
Ocorre várias vezes por ano na indústria	A3	B3	C3	D3	E3
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo	A4	B4	C4	D4	E4
Ocorre mensalmente	A5	B5	C5	D5	E5

A descrição da gravidade de cada categoria em relação ao ambiente encontra-se na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Descrição da Gravidade “Ambiente”

Gravidade	Critério
Sem efeitos	Impacto insignificante, mas registado.
Impacto ligeiro	Impacto dentro do limite da instalação e/ou nas imediações, com possibilidade de remediação.
Impacto significativo	Impacto dentro e fora da instalação, reversível; Repercussões externas de curta duração a nível local ou regional.
Impacto elevado	Impacto dentro e fora da instalação com remediação limitada; Repercussões externas de longa duração a nível regional ou nacional.
Danos irreversíveis	Impacto dentro e fora da instalação, sem possibilidade de remediação; Repercussões externas irreversíveis a nível nacional ou internacional.

A correspondência dos quatro cenários ao nível de risco é apresentado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Matriz de Risco “Ambiente” aplicada aos cenários

Ambientais	Sem efeitos	Impacto ligeiro	Impacto significativo	Impacto elevado	Danos irreversíveis
Nunca antes registado na indústria					
Incidente já ocorrido na indústria			Cenário B		Cenário D
Incidente ocorrido no local em estudo			Cenário C		
Ocorre várias vezes por ano na indústria		Cenário A			
Ocorre várias vezes por ano no local em estudo					
Ocorre diariamente					

Em relação ao ambiente, o nível de risco mais elevado que foi atingido foi o risco elevado sendo a tolerabilidade de intervenção a curto prazo.

Os resultados obtidos correspondem todos ao cenário D (Perda total da instalação e possibilidade de propagação às instalações vizinhas), como resumido na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Nível de Risco e Tolerabilidade de acordo com as categorias

	Nível de Risco	Tolerabilidade
Propriedade / Instalações	Risco elevado	Actuação urgente
Pessoas	Risco elevado	Actuação urgente
Ambientais	Risco elevado	Actuação urgente

A tolerabilidade possui uma grande importância pois permite estabelecer prioridades e efectuar as recomendações de melhoria, que são apresentadas no subcapítulo 4.6, de acordo com a rapidez de actuação exigida.

4.5 Discussão dos resultados

Como já apresentado na Tabela 4.11, a avaliação global deste caso resulta numa classificação de “Risco Elevado” para os três critérios considerados. Apenas no critério “ Propriedade / Instalações” aparecem dois cenários (C e D) avaliados

simultaneamente como risco elevado e isso deve-se principalmente ao facto do cenário C já ter ocorrido naquelas instalações; ou seja, destruição quase total da central eléctrica, embora não tenham morrido pessoas, nem tenham ocorrido danos irreversíveis para o ambiente.

Para esta discussão dos resultados colocou-se uma nova questão: e se o incêndio não tivesse ficado circunscrito à central eléctrica?

Para representar esse risco acrescido seria necessário “ampliar” a árvore de consequências com mais uma pergunta: O incêndio ficou circunscrito à Central Eléctrica?

As duas opções possíveis são o “sim” e o “não”, o que corresponderia a:

- Sim: destruição total da Central Eléctrica, mas não houve propagação para outras instalações do mesmo estabelecimento (ficou circunscrito).
- Não: houve propagação para instalações vizinhas; cenário catastrófico com efeitos nas instalações e nas populações e ambiente envolventes.

O diagrama “Bow Tie” incluindo este cenário catastrófico seria o representado a seguir, na Figura 4.9. Neste caso, aparece um novo cenário, catastrófico, que corresponderia ao chamado efeito dominó.

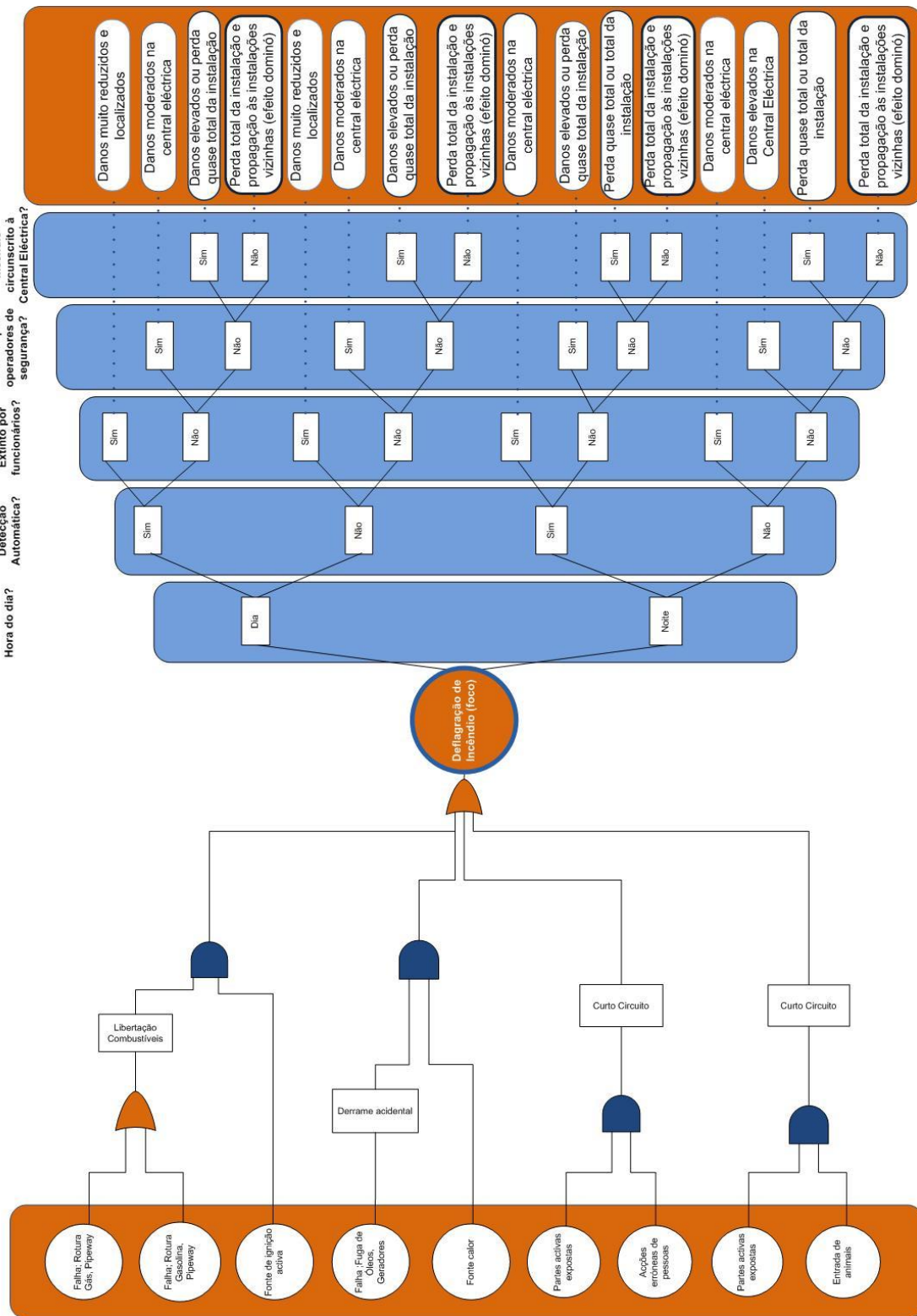


Figura 4.9 - Diagrama "Bow-Tie" para discussão de resultados

4.6 Recomendações de Melhoria

Após realizada a análise e avaliação deste caso de estudo, é possível efectuar algumas recomendações de melhoria não apenas para a eliminação das causas raiz, mas também com vista a contribuir para a redução da probabilidade de falha em situações futuras. Neste sentido propõem-se as seguintes medidas, por ordem decrescente de prioridade:

- Considera a eventual mudança do grupo dos turbogeradores para o piso inferior;
- Desenvolver um programa de gestão do ciclo de vida dos turbogrupos;
- Instalar sistemas de extinção automática de incêndio nos turbogrupos e nos respectivos reservatórios de óleo;
- Instalar um colector de derrames de óleo;
- Instalar cabos resistentes ou retardantes ao fogo, assim como travessias corta-fogo, minimizando ainda os caminhos aéreos de cabos;
- Definir metodologia de detecção e extinção a utilizar em salas eléctricas e de sistemas de controlo;
- Planear simulacros de incêndios em salas técnicas;
- Formação e treino específico de combate a incêndios em instalações eléctricas;

- Eliminar as aberturas nas chapas dos pisos PP1 e PP2 que serviram, no mínimo, para passagem de fumo e calor, contribuindo ainda para alimentação do incêndio com oxigénio;
- Definir planos de contingência adequados para as necessidades de evacuação de salas de controlo;
- Assegurar a manutenção da vedação exterior por forma a impedir a intrusão de animais ou pessoas;
- Enfatizar a importância de comportamentos responsáveis, sensibilizando e motivando actos seguros.

5. Conclusões

A prevenção de acidentes industriais tem evoluído ao ponto de surgirem sistemas de gestão, acordos e protocolos internacionais, certificações de conformidade, melhorias na legislação, formação e consciencialização para os profissionais da área assim como para a sociedade. A procura de novos métodos para análise e avaliação de risco também continua a evoluir, sendo o modelo “Bow-Tie” um exemplo disso.

O modelo “Bow-Tie” com evolução a partir dos diagramas causa / consequência da década de 1970, segue uma abordagem centrada no acontecimento crítico permitindo uma análise de risco, através de árvores de falhas e acontecimentos, representando em simultâneo vários cenários e barreiras de segurança. Trata-se de um modelo que permite obter uma visão global, de fácil percepção, sendo por isso cada vez mais utilizado. O modelo original é probabilístico, mas a junção com outras ferramentas de avaliação de risco é apenas a continuação desta mesma evolução.

Através do caso prático foi possível constatar algumas limitações do modelo:

- A criação de um diagrama detalhado pode ser bastante complexa e demorada;
- Todo o modelo é focado em apenas um acontecimento crítico;

Como vantagens pode referir-se que:

- Durante a criação do diagrama são identificadas áreas “frágeis”, possíveis de ser melhoradas, funcionando assim como uma ferramenta de ajuda à prevenção;

- Estabelece uma distinção clara entre a parte de prevenção e protecção;
- O envolvimento de pessoas com experiência na área, revelou-se de extrema importância; através da discussão de resultados é possível aperfeiçoar o diagrama, estimulando ainda a comunicação entre os intervenientes;
- O envolvimento de pessoas não relacionadas com a área também se mostrou relevante para comprovar que o diagrama “Bow-Tie” é de fácil percepção e facilita em termos de apresentação.

As vantagens da aplicação de diagramas “Bow-Tie” estão a ser constatadas pelo mundo inteiro por diversos sectores de negócio; a sua junção com outros modelos matemáticos para avaliação de risco é uma evolução possível.

Bibliografia

Active Bow Tie. (s.d.). Obtido em 15 de 09 de 2010, de Active Bow Tie (www.risk-support.co.uk/Details%20of%20ABT%202.htm)

BowTie Pro. (s.d.). Obtido em 06 de Setembro de 2010, de BowTie Pro (www.bowtiepro.com/bowtie_history.asp)

Carracinha, F. J. (2009). Análise de Funções de Segurança (SFA - Safety Function Analysis) numa indústria de transformação de papel. Tese de Mestrado em Engenharia Industrial (não publicado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Portugal

Galp Energia (2009). *Data Book de Ambiente e Segurança - Refinaria de Sines*.

Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., & Debray, B. (2006). ARAMIS project: A comprehensive methodology for identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials*, volume 130, issue 3, 200-219.

Delvosalle, C., Fiévez, C., Pipart, A., Fabrega, J. C., Planas, E., Christou, M., et al. (2003). Safety and Reliability. In: *Safety and Reliability; Proceedings of the ESREL 2003 Conference*. Maastrich, the Netherlands.

Dianous, V., & Fiévez, C. (2006). ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials*, volume 130, issue 3, 220-233.

Grassi, A., Gamberini, R., Mora, C., & Rimini, B. (2009). A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science*, volume 47, issue 5, 707-716.

Guimarães, A., & Lapa, C. (2007). Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing*, volume 7, issue 1, 17-28.

Hale, A. R., Ale, B. J., Goossens, L. H., Heijer, T., Bellamy, L. J., Mud, M. L., et al. (2007). Modeling accidents for prioritizing prevention. *Reliability Engineering & System Safety*, volume 92, issue 12, 1701-1715.

Harms-Ringdahl, L. (2001). *Safety analysis: principles and practice in occupational safety*. 2nd edition London; New York: Taylor & Francis.

Heinrich, H. W., Peterson, D., & Roos, N. (1980). *Industrial Accident Prevention*. McGraw Hill, New York.

Heinrich, H. W., Peterson, D., & Roos, N. (1980). *Industrial accident prevention: a safety management approach*. New York: McGraw Hill.

Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. England: Ashgate.

Hollnagel, E. (2008). Risk + barriers = safety? *Safety science*, volume 46, issue 2, 221-229.

Hurst, S., & Lewis, S. (Maio de 2005). Lessons learned from real world. *ESRA Newsletter*, 4-6.

- Jacinto, C. (2008). Acidentes Industriais Graves - desenvolvimentos recentes na gestão do risco. Comunicação no Seminário Indústrias de Alto Risco e Segurança Industrial, promovido pelo Governo Distrital de Setúbal e Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS). Barreiro, 17 de Junho de 2008.
- Jacinto, C., & Silva, C. (2010). A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety Science*, volume 48, issue 8 , 973-979.
- Silva, C. & Jacinto, C. (2007). Avaliação de Risco de Acidente de Trabalho na Construção Naval Utilizando a Abordagem "Bow-Tie". In: Riscos Públicos e Industriais, Guedes Soares, C. ; Teixeira, A. P. e Antão, P. (Eds). Edições Salamandra, volume 2, 833-852.
- Kirchsteiger, C. (1998). Absolute and relative ranking approaches for comparing and communicating industrial accidents. *Journal of Hazardous Materials*, volume 59, issue 1, 31-54 .
- Kurowicka, D., Cooke, R., Goossens, L., & Ale, B. (2008). Expert Judgment study for placement ladder bowtie. *Safety Science*, volume 46, issue 6, 921-934.
- Markowski, A. S., Mannan, M. S., & Bigoszezka, A. (2009). Fuzzy logic for process safety analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* , volume 22, issue 6, 695-702.
- Nunes, I. M. (2003). *Modelo de Sistema Pericial Difuso para Apoio à Análise Ergonómica de Postos de Trabalho [Fuzzy System Model to Support Workstation Ergonomic Analysis]*, Tese de Doutoramento Dep. Eng. Mecânica e Industrial - Universidade Nova de Lisboa. Portugal.
- Salvi, O., & Debray, B. (2006). A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive. *Journal of Hazardous Materials* , volume 130, issue 3, 187-199.
- Sklet, S. (2006). Safety barriers: definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* , volume 19, issue 5, 494-506.
- Souza, C., & Freitas, C. (2003). Análise de causas de acidentes e ocorrências anormais, relacionados ao trabalho em refinaria de petróleo, Rio de Janeiro. *Caderno Saúde Pública*, volume 19, issue 5, 1293-1303.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, volume 8 , 338-353.
- Zadeh, L. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, volume 3 , 28-44.
- Zimmermann, H. J. (2004). Fuzzy set theory and its applications. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Zuijderduijn, C. (1999). *Risk management at Shell refinery/chemicals at Pernis - Implementation of SEVESO II based on build up experiences, using a Hazards & Effects Management Process. In: Proceedings of the SEVESO 2000 European Conference, Athens, Greece, 10-12 Nov. 2009* (<http://mahbsrv.jrc.it/Proceedings/Greece-Nov-1999/B4-ZUIJDERDUIJN-SHELL-z.pdf>).

Legislação e Normas

Decreto-Lei nº 254/2007, de 12 de Julho de 2007, Diário da República, 1ª Série – nº 133, 2007 relativo ao regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e limitação das suas consequências para o homem e o ambiente.

Lei nº 98/2009, de 4 de Setembro de 2009, Diário da República, 1ª Série – nº 172, 2009 relativo à reparação de acidentes de trabalho e de doenças profissionais, incluindo reabilitação e reintegração profissionais.

Norma Portuguesa 4397:2008, relativa a sistemas de gestão da segurança e saúde do trabalho